

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE  
BITUIMA, CUNDINAMARCA**

**DIANA MARCELA COLORADO VARGAS  
MARIA PAULA HERRERA BARRERA**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE BITUIMA,  
CUNDINAMARCA.**

**DIANA MARCELA COLORADO VARGAS**

**MARIA PAULA HERRERA BARRERA**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá D.C, Agosto de 2017**

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García – Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Ing. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García – Peña

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo primeramente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado a este momento tan importante. A mis padres por su apoyo incondicional en el transcurso de mi vida, por demostrarme siempre su cariño, y por siempre estar a mi lado. A mi hermano que a pesar de nuestras diferencias siempre ha estado junto a mí. A mi novio Sebastian quien me apoyó y alentó para continuar, cuando creí que me iba a rendir. Y a toda mi familia en general por ser el pilar de mi vida.

**Diana Marcela Colorado Vargas**

Dedico este proyecto a Dios, quien me dió la vida, me inspira a seguir y con su amor me guía en cada paso. A mi familia por su compañía, su apoyo incondicional y motivación para no rendirme en los momentos difíciles, especialmente a mis padres y mi hermano por sus consejos y su amor. A mis amigos y compañeros quienes llenaron el proceso de alegría y me aportaron conocimientos a lo largo de la carrera.

**María Paula Herrera Barrera**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por permitirnos llegar a este momento tan importante en nuestras vidas, y poder compartirlo con nuestras familias, que nos brindan su apoyo en cada paso que damos.

A la Universidad de América por abrirnos sus puertas y darnos las bases necesarias para tener un buen desenvolvimiento en nuestra vida profesional.

También agradecemos a nuestra asesora de trabajo de grado la Ing. Elizabeth Torres, la cual con su conocimiento nos encaminó para un buen desarrollo de nuestro proyecto.

A la profesora Diana Cuesta por todos sus consejos y apreciaciones en el desarrollo de nuestro proyecto.

Nuestro agradecimiento también va dirigido al Municipio de Bituima Cundinamarca, su Alcalde Guillermo Barrera Medina y el Ing. Alexander Bautista Rocha por haber aceptado que se realizará nuestro proyecto de tesis de grado en el Municipio.

<b>CONTENIDO</b>	<b>pág.</b>
RESUMEN	24
INTRODUCCIÓN	25
OBJETIVOS	27
1. GENERALIDADES	28
1.1 LÍMITES GEOGRÁFICOS Y EXTENSIÓN DEL MUNICIPIO	28
1.2 ALTITUD Y TEMPERATURA	29
1.3 CLIMATOLOGÍA	29
1.4 PRECIPITACIÓN	30
1.5 RECURSO HÍDRICO	31
1.6 EQUIPAMIENTO Y SERVICIOS PUBLICOS	31
1.6.1 Agua potable y saneamiento	32
1.6.2 Alcantarillado	32
1.6.3 Educación y salud	33
1.6.4 Distribución establecimientos comerciales	33
1.7 POBLACIÓN	33
1.7.1 Proyecciones de la población	33
1.7.1.1 Nivel de complejidad del sistema	34
1.7.1.2 Periodo de diseño	34
1.7.1.3 Estimación de la población de diseño	35
1.7.2 Población servida	35
1.8 TRATAMIENTOS SUGERIDOS	35
1.8.1 Pre-tratamiento	36
1.8.1.1 Rejillas	36
1.8.1.2 Tamices	36
1.8.1.3 Desarenadores	36
1.8.2 Tratamientos primarios	37
1.8.2.1 Trampa de grasas	37
1.8.2.2 Sedimentación primaria	37
1.8.2.3 Coagulación	37
1.8.2.4 Floculación	38
1.8.3 Tratamientos secundarios	38
1.8.3.1 Lodos activados	38
1.8.3.2 Laguna facultativa	41
1.8.3.3 Biodiscos	42
1.9 NORMATIVIDAD	43
1.9.1 Resolución 631 de 2015	43
1.9.2 Resolución 3461 del 2009	44
2.DIAGNÓSTICO	47



2.1 MEDICIÓN DEL CAUDAL	49
2.2 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA	50
2.3 MEDICIÓN DE pH	50
2.4 MEDICIÓN DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO)	51
2.5 MEDICIÓN DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	52
2.6 MEDICIÓN ACEITES Y GRASAS	52
2.7 MEDICIÓN FÓSFORO TOTAL	52
2.8 MEDICIÓN NITRÓGENO AMONIACAL	52
2.9 MEDICIÓN NITRATOS Y NITRITOS	53
2.10. MEDICIÓN OXÍGENO DISUELTO (OD)	53
2.11 MEDICIÓN COLIFORMES TOTALES	53
2.12. MEDICIÓN <i>E. coli</i>	53
2.13 MEDICIÓN HIERRO	54
 3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	 55
3.1. CÁLCULO DE CAUDAL DE DISEÑO	55
3.1.1 Dotación neta mínima y máxima	55
3.1.2 Corrección de la dotación neta	55
3.1.3 Estimación coeficiente de retorno	56
3.1.4 Contribuciones agua residual	57
3.1.4.1 Caudal doméstico	57
3.1.4.2 Caudal industrial ( $Q_I$ )	57
3.1.4.3 Caudal comercial ( $Q_C$ )	57
3.1.4.4 Caudal institucional ( $Q_{IN}$ )	58
3.1.5 Caudal medio diario de aguas residuales ( $Q_{MD}$ )	58
3.1.6 Caudal máximo horario ( $Q_{MH}$ )	58
3.1.6.1 Factor de mayoración	58
3.1.7 Caudal de diseño	60
3.2 MATRIZ DE SELECCIÓN DE TRATAMIENTO	60
3.2.1 Aplicabilidad del proceso	61
3.2.1.1 Flujo aplicable	61
3.2.1.2 Variaciones de flujo	61
3.2.1.3 Características del agua	62
3.2.1.4 Eficiencia de remoción	63
3.2.1.5 Generación de residuos	63
3.2.2 Costos	64
3.2.2.1 Inversión	64
3.2.2.2 Costos de operación y mantenimiento	64
3.2.3 Diseño y construcción	65
3.2.3.1 Requerimiento de área	65
3.2.3.2 Criterios de diseño y complejidad del proceso	66
3.2.4 Operación	67
3.2.4.1 Requerimiento de personal	67
3.2.4.2 Disponibilidad de repuestos	67
3.2.4.3 Requerimiento energético	68

3.2.5 Entorno	68
3.2.5.1 Influencia de la temperatura	69
3.2.5.2 Producción de plagas y malos olores	69
3.2.5.3 Contaminación visual	69
3.2.7 Tabla evaluación de la matriz	70
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL	71
4.1 DISEÑO LODOS ACTIVADOS EXPERIMENTACIÓN	71
4.1.1 Determinación del caudal	71
4.1.2 Carga orgánica	71
4.1.3 Carga orgánica volumétrica	72
4.1.4 Relación alimento microorganismo	73
4.1.5. Determinación del área para la elaboración del reactor	73
5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	78
5.1 PRETRATAMIENTO	78
5.1.1 Rejillas	79
5.1.1.1 Características de rejillas de barras	79
5.1.1.2 Pérdida de energía en rejillas	80
5.1.1.3 Área del canal	81
5.1.1.4 Altura de la lámina de agua	81
5.1.1.5 Altura del canal	82
5.1.1.6 Longitud de la rejilla	82
5.1.1.7 Número de barras requeridas	82
5.1.2 Desarenador	84
5.1.2.1 Velocidad de sedimentación	85
5.1.2.2 Longitud del desarenador	85
5.1.2.3 Tiempo de sedimentación o retención	86
5.1.2.4 Volumen de agua conducido en ese tiempo	86
5.1.2.5 Volumen del desarenador	86
5.1.2.6 Ancho del desarenador	87
5.1.3 Tamices	87
5.2 TRATAMIENTO PRIMARIO	88
5.2.1 Trampa de grasas y aceite	88
5.2.1.1 Volumen del sistema	89
5.2.1.2 Área superficial	89
5.2.2 Tanque homogenizador	91
5.2.2.1 Potencia de la bomba	92
5.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO	93
5.3.1 Lodos activados	93
5.3.1.1 Criterios de diseño	94
5.3.1.2 Determinación del volumen	94
5.3.1.3 Dimensionamiento del tanque de aireación	95
5.3.1.4 Carga orgánica	96
5.3.1.5 Carga orgánica volumétrica	96

5.3.1.6 Relación alimento microorganismo	97
5.3.1.7 Crecimiento bacteriano y edad del lodo	98
5.3.1.8 Purga de lodo	98
5.3.1.9 Recirculación del lodo	99
5.3.1.10 Relación de recirculación o coeficiente de retorno	99
5.3.1.11 Requerimiento de oxígeno	100
5.3.1.12 Diseño del compresor	100
5.3.1.13 Diseño de los difusores	101
5.3.1.14 Diámetro agujeros de difusores	102
5.3.1.15 Frecuencia de formación de burbuja	103
5.3.2 Sedimentador	103
5.3.2.1 Área del sedimentador	104
5.4 TRATAMIENTO DE LODOS	107
 6. COSTOS	 109
6.1 INVERSION DE LOS EQUIPOS	109
6.1.1 Costo transporte y excavación	109
6.1.2 Costo de equipos y accesorios	109
6.2 COSTO DE OPERACIÓN	112
6.2.1 Costos de energía	113
6.2.2 Costo de operario	113
6.2.3 Costos de mantenimiento	113
 7. CONCLUSIONES	 115
 8. RECOMENDACIONES	 116
 BIBLIOGRAFIA	 117
 ANEXOS	 119

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Localización del Municipio	28
Figura 2. Division veredal	29
Figura 3. Zonas climáticas	30
Figura 4. Tubería de vertimiento	32
Figura 5. Diagrama lodos activados convencionales.	39
Figura 6. Diagrama laguna facultativa	41
Figura 7. Diagrama biodiscos	42
Figura 8. Esquema del diseño experimental	74
Figura 9. Proceso experimental	75
Figura 10. Formación del lodo	77
Figura 11. Capa compacta de lodo	77
Figura 12. Tren de tratamiento	78
Figura 13. Esquema de rejillas	79
Figura 14. Esquema desarenador	84
Figura 15. Esquema Trampa de grasas y aceites	91
Figura 16. Esquema de lechos de secado	108

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Hidrografía del Municipio	31
Tabla 2. Distribución establecimientos comerciales	33
Tabla 3. Nivel de complejidad del sistema	34
Tabla 4. Periodo de diseño según el nivel de complejidad	34
Tabla 5. Parámetros y valores límites máximos permisibles de vertimientos a cuerpos de agua superficial.	43
Tabla 6. Objetivo de calidad de la cuenca del Rio Negro	45
Tabla 7. Comparación de los resultados fisicoquímicos con las normativas	48
Tabla 8. Dotación neta mínima y máxima	55
Tabla 9. Corrección de la dotación neta	56
Tabla 10. Coeficiente de Retorno	56
Tabla 11. Factor de mayoración	59
Tabla 12. Determinación de caudal máximo horario	59
Tabla 13. Remoción de sistemas biológicos	62
Tabla 14. Costos de inversión (dólares/hab)	64
Tabla 15. Criterios de diseño de los sistemas evaluados	66
Tabla 16. Consumo energético de los sistemas evaluados	68
Tabla 17. Matriz de selección de alternativa de tratamiento	70
Tabla 18. Determinación caudal de agua residual experimental	71
Tabla 19. Determinación de carga orgánica del proceso experimental	72
Tabla 20. Determinación de la carga orgánica volumétrica del experimental	72
Tabla 21. Relación alimento Microorganismo	73
Tabla 22. Reducción posible de parámetros	76
Tabla 23. Características de las rejillas de barras.	80
Tabla 24. Dimensionamiento de las rejillas	83
Tabla 25. Parámetros según geometría del desarenador	84
Tabla 26. Velocidad de sedimentación de partícula	85
Tabla 27. Dimensionamiento del desarenador	87
Tabla 28. Características trampa de grasas	88
Tabla 29. Capacidad de retención de grasa	88
Tabla 30. Dimensionamiento trampa de grasas	90
Tabla 31. Dimensionamiento Tanque Homogenizador	92
Tabla 32. Potencia bomba del Tanque Homogenizador	93
Tabla 33. Parámetros de diseño y operación de procesos de lodos activados	94
Tabla 34. Criterios de diseño de lodos activados	94
Tabla 35. Dimensionamiento del Tanque de aireación	96
Tabla 36. Parámetros de diseño lodos activados	97
Tabla 37. Caudal de Purga y Recirculación del lodo	99
Tabla 38. Potencia del compresor	101
Tabla 39. Parámetros para el diseño de difusores.	101
Tabla 40. Determinación del tamaño de burbuja para los difusores	102

Tabla 41. Características de difusores	103
Tabla 42. Parámetros de diseño del sedimentador	104
Tabla 43. Dimensionamiento sedimentador	106
Tabla 44. Costo de transporte y excavación	109
Tabla 45. Costo de equipos y accesorios	110
Tabla 46. Tabla de Amortización	111
Tabla 47. Costo de energía	113
Tabla 48. Costo de operarios	113
Tabla 49. Costo de Mantenimiento	113

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>pág.</b>
Grafica 1. Fases de crecimiento de los microorganismos	40
Grafica 2. Crecimiento relativo de microorganismos	40
Grafica 3. Medición de la temperatura	50
Grafica 4. Seguimiento de pH	51
Grafica 5. Perfil de caudal	62

## LISTA DE ECUACIONES

	<b>pág.</b>
Ecuación 1. Estimación de la población futura.	35
Ecuación 2. Corrección de la dotación neta	56
Ecuación 3. Determinación caudal domestico	57
Ecuación 4. Determinación caudal medio diario	58
Ecuación 5. Determinación caudal máximo horario	58
Ecuación 6. Relación Harmon	59
Ecuación 7. Relación Babbitt	59
Ecuación 8. Relación Flores	59
Ecuación 9. Determinación caudal de diseño	60
Ecuación 10. Caudal de aguas residuales en el desarrollo experimental	71
Ecuación 11. Carga orgánica del proceso experimental	72
Ecuación 12. Carga orgánica volumétrica del proceso experimental	72
Ecuación 13. Relación alimento microorganismo	73
Ecuación 14. Determinación del área para la elaboración del reactor	73
Ecuación 15. Pérdida de energía en rejillas	80
Ecuación 16. Altura o energía de velocidad del flujo de aproximación en la rejilla	80
Ecuación 17. Área del canal en la rejilla	81
Ecuación 18. Altura de la lámina de agua	81
Ecuación 19. Altura del canal	82
Ecuación 20. Longitud de la rejilla	82
Ecuación 21. Numero de barras requeridas en la rejilla	82
Ecuación 22. Determinación de la longitud desarenador	85
Ecuación 23. Tiempo de sedimentación o retención en el desarenador	86
Ecuación 24. Volumen de agua conducido en el tiempo de retención	86
Ecuación 25. Determinación volumen del desarenador	86
Ecuación 26. Volumen del sistema de grasas y aceites	89
Ecuación 27. Área superficial del sistema de grasas y aceites	89
Ecuación 28. Ancho requerido en el equipo	90
Ecuación 29. Altura requerida en el sistema de grasas y aceites	90
Ecuación 30. Determinación volumen tanque homogeneizador	91
Ecuación 31. Calculo potencia de la bomba para tanque homogeneizador	92
Ecuación 32. Determinación Volumen del tanque de aireación	95
Ecuación 33. Área del tanque de aireación	95
Ecuación 34. Determinación ancho del reactor	95
Ecuación 35. Carga orgánica del proceso	96
Ecuación 36. Carga orgánica volumétrica del proceso	96
Ecuación 37. Relación alimento/microorganismos del proceso	97
Ecuación 38. Determinación caudal del lodo a purgar	98
Ecuación 39. Determinación Caudal de recirculación del lodo	99



Ecuación 40. Relación de recirculación o coeficiente de retorno	100
Ecuación 41. Presión del agua para el diseño del compresor	100
Ecuación 42. Presión absoluta para el diseño del compresor	100
Ecuación 43. Delta de temperatura	101
Ecuación 44. Temperatura	101
Ecuación 45. Potencia del compresor	101
Ecuación 46. Determinación del diámetro de los agujeros de los difusores	102
Ecuación 47. Frecuencia de formación de burbuja	103
Ecuación 48. Área del sedimentador	104
Ecuación 49. . Calculo del caudal pico del afluente	104
Ecuación 50. Área del sedimentador para el caudal pico	105
Ecuación 51. Flujo pico de sólidos	105
Ecuación 52. Área requerida por carga de sólidos	105
Ecuación 53. Diámetro del sedimentador	105
Ecuación 54. Volumen del sedimentador	105
Ecuación 55. Carga de rebose sobre el vertedero perimetral	106
Ecuación 56. Determinación tiempo de retención del sedimentador	106

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Demostración Cálculos	119
Anexo B. Resultados agua residual del Municipio	128
Anexo C. Cotización tanques	132
Anexo D. Diagrama de proceso de la PTAR	133

## LISTA DE ABREVIATURAS

PTAR: planta de Tratamiento de Agua Residual

CAR: corporación Autónoma Regional

msnm: metro sobre el nivel del mar

°C: grados Centígrados

DBO: demanda Biológica de Oxígeno

DQO: demanda Química de Oxígeno

rpm: revoluciones por Minuto

ARD 1: agua Residuales Domesticas – ARD de las soluciones individuales de saneamiento de viviendas unifamiliares o bifamiliares

ARD 2: agua Residuales Domesticas – ARD y de las aguas residuales (ARD-ARnD) de los prestadores del servicio público y alcantarillado a cuerpos de agua superficiales, con una carga menos o igual a 625 kg/día DBO5

L: litro

cm: centímetro

m: metro

s: segundo

s<sup>-1</sup>: segundo a la menos uno

mm: milímetros

m/s: metro sobre segundo

m<sup>2</sup>: metro cuadrado

m/s<sup>2</sup>: metro sobre segundo cuadrado

m<sup>3</sup>: metro cubico

m<sup>3</sup>/s: metro cubico sobre segundo

m<sup>3</sup>/min: metro cubico sobre minuto

m<sup>3</sup>/h: metro cubico sobre hora

m<sup>3</sup>/día: metro cubico sobre día

L/s: litro sobre segundo

L/h: litro sobre hora

ml/s: mililitro sobre segundo

mgO<sup>2</sup> /L: miligramo de Oxigeno sobre litro

mgO<sup>2</sup>/s: miligramo de Oxigeno sobre segundo

mgO<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>s: miligramo de Oxigeno sobre metro cubico por segundo

mgO<sup>2</sup>/s\*mgss: miligramo de Oxigeno sobre segundo por miligramo de solidos suspendidos

mgss/L: miligramo de solidos suspendidos sobre litro

mgssv/L: miligramo de solidos suspendidos volátiles sobre litro

gDBO/m<sup>3</sup>d: gramos de DBO sobre metro cubico por día

gDBO/gssVLMd: gramos de DBO sobre gramos de solidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla por día

ssv /m<sup>3</sup>: sólidos suspendidos volátiles sobre metro cubico

min: minutos

Kg: kilogramo

kg DBO/ día: kilogramo de DBO sobre día

Kg/m<sup>3</sup>: kilogramo sobre metro cubico

L/s/m<sup>3</sup>: litro sobre segundo sobre metro cubico

HP: horsepower

W: watts

Psi: libra por pulgada cuadrada

N/m: newton sobre metro

## **GLOSARIO**

**AGUA RESIDUAL:** se consideran a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad o Municipio (domesticas, comerciales, industriales y de servicio).

**AGUA RESIDUAL MUNICIPAL:** residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una población y tratadas en una planta de tratamiento, son de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.

**AGUA RESIDUAL TRATADA:** las aguas residuales son conducidas a una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) donde se realiza la remoción de los contaminantes, a través de métodos biológicos o fisicoquímicos. La salida (efluente) del sistema de tratamiento es conocida como Agua Residual Tratada.

**CARACTERIZACIÓN DE AGUA:** determinación de la calidad del agua a través de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos. Comprende un programa de monitoreo, análisis de parámetros, interpretación de resultados y toma de decisiones.

**CARGA ORGÁNICA:** cantidad de materia orgánica, generalmente medida como DBO5, aplicada a un proceso de tratamiento dado; expresada como peso por unidad de tiempo por unidad de superficie o por unidad de peso.

**CAUDAL:** volumen de agua por unidad de tiempo.

**CAUDAL MÁXIMO DIARIO:** consumo máximo durante veinticuatro horas.

**CAUDAL MÁXIMO HORARIO:** consumo máximo durante una hora.

**CAUDAL MEDIO DIARIO:** consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un periodo de un año.

**CUERPO DE AGUA:** acumulación de agua corriente o quiete, que en su conjunto forma la hidrósfera como laguna, lagos, ríos, arroyos, pantanos y cualquier otra acumulación de agua.

**DESCARGA:** vertido de agua residual o de líquidos contaminantes al ambiente durante un periodo de tiempo.

**DIFUSOR:** placa porosa, tubo u otro artefacto, a través de la cual se inyecta aire comprimido u otros gases en burbujas, a la masa líquida.

**DISPOSICIÓN FINAL:** forma y/o sitio de almacenamiento definitivo de los residuos.

**FLÓCULO:** es la unidad ecológica y estructural alrededor del cual se desarrolla el proceso de depuración biológica. Morfológicamente está formado por bacterias filamentosas y protozoos.

**LÍMITE PERMISIBLE:** valor máximo de concentración de elementos o sustancias en los diferentes componentes del ambiente, determinados a través de normativas.

**LODOS:** residuo semisólido, que contiene microorganismos y sus productos, de cualquier sistema de tratamiento de aguas.

**MUESTRA COMPUESTA:** dos o más muestras simples que se han tomado y se han mezclado en proporciones conocidas y apropiadas para obtener un resultado representativo, en intervalos de tiempo.

**MUESTREO:** toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.

**pH:** es definido como  $-\log [H^+]$ , y su medida es, por tanto, un reflejo en escala logarítmica de la concentración de protones, es decir, de la acidez del medio.

**PLANTA DE TRATAMIENTO AGUA RESIDUAL:** es una instalación donde las aguas residuales se les retira los contaminantes para hacer de ella un agua sin riesgo para la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural o por su reutilización en otras actividades.

**PROCESOS BIOLÓGICOS AERIBIOS:** proceso realizado por diversos grupos de microorganismos, que en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica.

**REDES UNITARIAS O ALCANTARILLADO COMBINADO:** caudal compuesto por red sanitaria y pluvial.

**SEDIMENTADO:** que se precipita al fondo de un líquido.

**SISTEMA DE TRATAMIENTO:** conjunto de operaciones y procesos físicos, químicos y/o biológicos, cuya finalidad es tratar el agua residual.

**TRATAMIENTO PRELIMINAR:** procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario (Cribas, Desarenadores, etc.). Preparan el agua para el tratamiento posterior.

**TRATAMIENTO PRIMARIO:** tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una DBO relativamente alta.

**TRATAMIENTO SECUNDARIO:** es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

**VERTIMIENTO:** es cualquier descarga final de un elemento, sustancia o compuesto que este contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola, minero, industrial, de servicios, aguas negras o servidas, a un cuerpo de agua, a un canal, al suelo o al subsuelo.

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como propósito realizar, el diseño conceptual de una planta de tratamiento de agua residual para el Municipio de Bituima Cundinamarca, el diseño se llevó a cabo siguiendo los parámetros de construcción establecidos en el reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000).

Inicialmente se realiza el diagnóstico del agua residual, comparando con la Resolución 631 de 2015 y con la Resolución 3461 de 2009 que establece los objetivos de calidad de la cuenca a lograr en el año 2020. Los principales parámetros analizados fueron el caudal, la temperatura, el pH, DBO, DQO, medición de aceites y grasas, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, coliformes y fósforo total.

De acuerdo a lo analizado en el diagnóstico, se establece la necesidad de implementar un sistema biológico, por lo que se realiza una matriz de selección con las posibles opciones, evaluando aspectos como la aplicabilidad del proceso, los costos, diseño y construcción, operación y entorno. Seleccionando de esta forma el tratamiento de lodos activados, por medio de soportes bibliográficos se determinaron los tratamientos a lo largo de toda la PTAR.

Se realiza un sistema de lodos activados experimental, el cual funcionó durante un mes aproximadamente, una vez evaluado el proceso en el día veinte (20) se obtuvo una eficiencia del 91,36% en la reducción de la DBO y para el día 25 esta eficiencia incremento a un 92,12 %. Mostrando un correcto funcionamiento del sistema para el agua tratar y para el cumplimiento de las resoluciones. Además, por medio de este tratamiento se obtiene una disminución de sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fósforo y coliformes fecales.

Luego se desarrolló el dimensionamiento de cada uno de los equipos que conforman la planta de tratamiento de agua residual entre los que incluyen: rejillas, desarenados, trampa de grasas y aceites, tanque homogenizados, tanque de lodos activados y sedimentador.

Una vez calculado el dimensionamiento se elaboró un análisis de los costos de inversión de los equipos y de operación para la PTAR.

Palabras clave: agua residual, vertimiento, caudal, lodos activados y parámetros de diseño.



## INTRODUCCIÓN

La importancia de los recursos naturales ha provocado que el hombre se encamine en la búsqueda de métodos para proteger este recurso, y de la misma manera ser aprovechado por los seres vivos. En Colombia, se presentan importantes niveles de contaminación a los cuerpos de agua lo cual afecta la disponibilidad del recurso en términos de calidad, provocando la existencia de un riesgo potencial sobre la salud de la población deteriorando su calidad de vida y la de los ecosistemas. Es por ello que actualmente Colombia cuenta con una Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, la cual quiere garantizar la sostenibilidad del recurso mediante la conservación de los ecosistemas.

Por su localización y geografía Colombia cuenta con una gran variedad de climas permitiendo ubicarse entre los primeros lugares con mayor riqueza hídrica en el mundo. Sin embargo, cuando se analiza la población y sus actividades socioeconómicas se ubica en un lugar con baja oferta hídrica, de aquí que tanto como las grandes ciudades como también los Municipios han venido adquiriendo una mayor responsabilidad en gestiones como lo es el desarrollo socioeconómico y ambiental.

Como parte de esta responsabilidad el Gobierno ha solicitado que los Municipios cuenten con tratamiento para sus aguas residuales, actualmente solo 480 Municipios realizan algún tratamiento a sus aguas, esto equivale al 43,5% de los Municipios del país. La región suroriental del país y la costa pacífica son los territorios con más bajo reporte de sistemas de tratamiento, entre los Municipios con más sistemas de tratamiento se encuentran: Barbosa, Ibagué, Zipaquirá, Tenjo, Madrid, Tocancipa, Flandes.<sup>1</sup>

Pero la gestión de tratamiento de agua residual no se debe concluir solo con contar con una planta de tratamiento residual sino verificar que esta esté en funcionamiento, que se le realice un adecuado mantenimiento y lo más importante es que el agua vertida a las fuentes naturales cumpla con la resolución 631 de 2015 la cual establece los parámetros y los valores máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial y con los objetivos de calidad de la cuenca, pues estos van a garantizar usos del agua como: consumo humano y doméstico, preservación de la fauna y flora, agrícola, pecuario e industrial.

En este documento se presenta la investigación de trabajo de grado para optar al título de Ingenieras Químicas. De esta forma se quiere obtener la "Propuesta para el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales Urbanas en el Municipio de Bituima Cundinamarca", el cual constituye un paso importante en el

---

<sup>1</sup> LIZARAZO, Jenny y ORJUELA, Marta. Sistema de planta de tratamiento de aguas residuales en Colombia. 2013.

manejo y disposición de residuos líquidos de origen doméstico. Para el desarrollo de la propuesta del diseño se lleva a cabo una caracterización del agua residual con el fin de observar el estado actual de esta, con el desarrollo de la metodología la cual se elaboró teniendo en cuenta recomendaciones elaboradas en el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS 2000, se logra identificar el sistema de tratamiento de agua más adecuado y que cumpliera con los objetivos de calidad de la cuenca.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta del diseño conceptual para la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) en el municipio de Bituima Cundinamarca.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diagnosticar el estado de las aguas residuales urbanas del Municipio de Bituima Cundinamarca.
- Seleccionar una alternativa de tratamiento de agua residual por medio de desarrollo experimental.
- Realizar las especificaciones de los equipos para el diseño conceptual según datos experimentales obtenidos.
- Realizar el análisis de costos de la PTAR.

## 1. GENERALIDADES

La obtención de la información requerida para realizar el diseño conceptual de la planta de tratamiento de aguas residuales Urbanas en el Municipio de Bituima Cundinamarca, se logra realizando unas visitas tanto al punto de vertimiento como a la Alcaldía. Durante la visita se lograron obtener algunos informes del agua residual de años anteriores y el plan maestro de alcantarillado.

### 1.1 LÍMITES GEOGRÁFICOS Y EXTENSIÓN DEL MUNICIPIO

El municipio de Bituima Cundinamarca se encuentra ubicado sobre la ladera Occidental del ramal Oriental de la gran Cordillera de los Andes que atraviesa el territorio colombiano de sur a Norte, el municipio hace parte de la provincia del Magdalena Centro. El Municipio de Bituima limita con los siguientes municipios, así: Por el Este con Guayabal de Siquima; Por el Norte: Con el Municipio de Villeta; Por el Sur: Con el Municipio de Quipile; Por el Occidente: Con el Municipio de Vianí. El Municipio, tiene una extensión superficial de aproximadamente de 61,2 Km<sup>2</sup> de la cual pertenece a Zona Rural el 61.17 Km<sup>2</sup>, (6.117 hectáreas) Equivalente al 99 % del territorio y el Área Urbana 0.13 Km<sup>2</sup>, (13 hectáreas) Equivalente al 1% del territorio<sup>2</sup>. En la **Figura 1** se muestra la localización satelital del Municipio.

Figura 1. Localización del Municipio



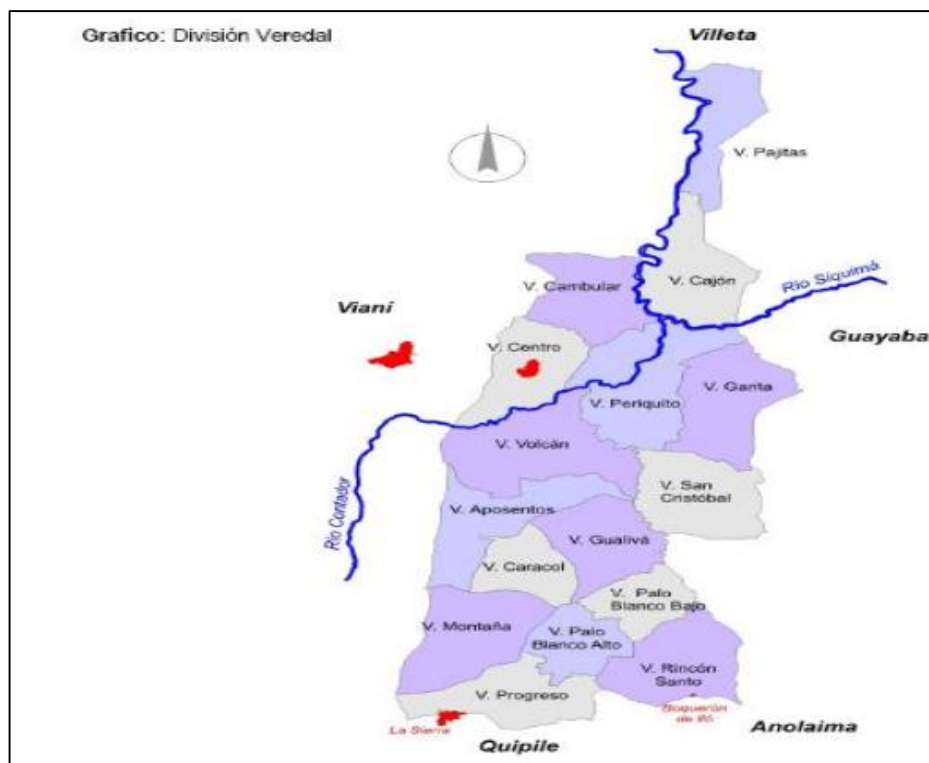
**Fuente.** Google maps

El Municipio se encuentra dividido para su manejo Político Administrativo en el área urbana, suburbana y área rural, esta última conformada por 16 veredas<sup>3</sup> como se observa en la **Figura 2**, cada una representada y organizada a través de las Juntas de Acción Local.

<sup>2</sup> BARRERA MEDINA, Guillermo. Plan de desarrollo municipal de Bituima (2008-2011), p. 14

<sup>3</sup> BARRERA MEDINA, Guillermo. Plan de desarrollo municipal de Bituima (2008-2011), p. 15

Figura 2. División veredal



**Fuente.** Consultado 15 de enero de 2017 en <[http://bituimacundinamarca.gov.co/apcafiles/34626637666261346561393630623639/localizaci\\_n\\_y\\_ubicaci\\_n\\_geogr\\_fica-2-.pdf](http://bituimacundinamarca.gov.co/apcafiles/34626637666261346561393630623639/localizaci_n_y_ubicaci_n_geogr_fica-2-.pdf)>

## 1.2 ALTITUD Y TEMPERATURA

El Municipio de se ubica desde los 1000 msnm hasta altitudes superiores a los 2000 msnm, la cabecera municipal se localiza en una altitud de 1.412 msnm promedio, lo que genera diversidad de pisos térmicos y áreas productivas que ayudan a la producción agrícola y pecuaria.<sup>4</sup> La temperatura máxima que de acuerdo a la variedad de pisos térmicos en el municipio varía entre los 21° C y los 24° C.

## 1.3 CLIMATOLOGÍA

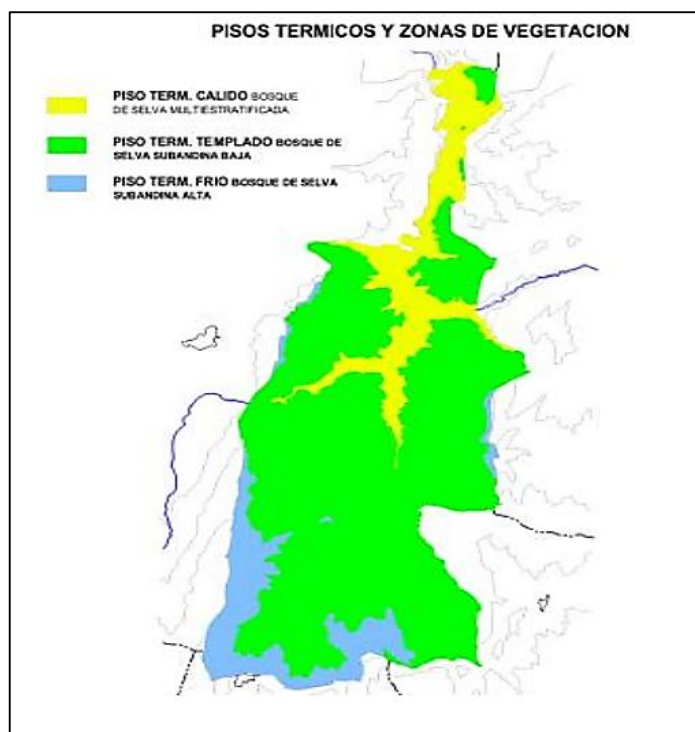
El municipio presenta tres zonas climáticas de acuerdo a estudios y clasificación determinados por la CAR:

- Zona Templada Semi-húmeda (Tsh)
- Zona Fría Semi-húmeda (Fsh)
- Zona Calida Semi-húmeda (Csh)

<sup>4</sup> BARRERA MEDINA, Guillermo. Plan de desarrollo municipal de Bituima (2008-2011), p. 16

La zona predominante en todo el municipio es la Templada Semi-húmeda como lo muestra la **Figura 3**, la cual cubija la mayoría del territorio del municipio, la zona fría semi-húmeda cubre principalmente las veredas la Montaña y el Progreso al sur del municipio y la zona cálida semi-húmeda cubre la vereda Cajo y Pajitas al norte del municipio en la rivera del río Bituima.<sup>5</sup>

Figura 3. Zonas climáticas



Fuente. Consultado el 17 de enero de 2017 en línea <[http://bituima.cundinamarca.gov.co/apcafiles/34626637666261346561393630623639/localizaci\\_n\\_y\\_uBicaci\\_n\\_geogr\\_fica-2-pdf](http://bituima.cundinamarca.gov.co/apcafiles/34626637666261346561393630623639/localizaci_n_y_uBicaci_n_geogr_fica-2-pdf)>

## 1.4 PRECIPITACIÓN

Las precipitaciones en Bituima se presentan básicamente en dos periodos: El primero entre los meses de marzo, abril y mayo y el segundo en los meses de octubre, noviembre y diciembre. La precipitación anual varía entre 1550 y 1850 mm, estimando un promedio de 1655 mm por año.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> BARRERA MEDINA, Guillermo. Plan de desarrollo municipal de Bituima (2008-2011), p. 16

<sup>6</sup> BARRERA MEDINA, Guillermo. Plan de desarrollo municipal de Bituima (2008-2011), p. 17

## 1.5 RECURSO HÍDRICO

El municipio posee una gran riqueza hídrica, como se ve en la **Tabla 1** hace parte de la cuenca del Río Villeta el cual es uno de los tributarios principales de la cuenca del Río Negro, en la hoya hidrográfica del Magdalena; el Río Contador, que en su recorrido se convierte en el río Villeta, es la principal cuenca municipal a la cual vierten sus aguas varias quebradas que hacen parte de las subcuencas y micro cuencas municipales.<sup>7</sup>

Tabla 1. Hidrografía del Municipio

Cuenca	Sub-cuenca	Tributarios Primer Orden (Microcuencas Mpales)	Tributarios Segundo Orden
Rio Villeta	Rio Contador ó Bituima	Rio Siquima Q. Gualivá Q. Balunda Q. Cajon Q. Amainda Q. La Manoa Q. La Chorrera Q. Guaté	Q. El Piñal Q. Cucata – Q. El Silencio – Q. Chiniata – Q. La Tomineja – Q. San Cristobal – Q. San Felipe – Q. Gallinazo – Q. Del Trapiche – Q. Catalito – Q. Payaca Q. La Chaga Q. El Diamante

Fuente. Esquema de ordenamiento territorial – Municipio de Bituima  
Cundinamarca acuerdo N° 029 de 2005

## 1.6 EQUIPAMIENTO Y SERVICIOS PUBLICOS

El Municipio está en estudio de planes y proyectos, donde se quiere garantizar las condiciones de disposición del agua residual, esto lo quiere lograr con la implementación de una planta de tratamiento de agua residual, debido a que el municipio no dispone de esta y solo se cuenta con la planta de tratamiento de agua potable.

---

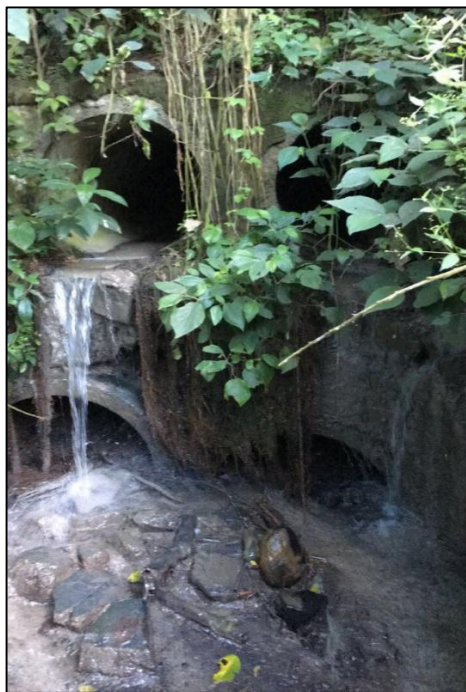
<sup>7</sup> LONDOÑO, Francisco Arq. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Gobernación de Cundinamarca. 2005. P.8

**1.6.1 Agua potable y saneamiento.** Actualmente el Municipio de Bituima depende de la calidad de agua del nacedero el Silencio para el suministro a la población, se presentan falencias debido a que no se cuenta con una planta de tratamiento de agua residual y la planta de tratamiento de agua potable no está en buen estado, en la zona veredal hay 15 acueductos y otros 3 en proceso de concesión, solo el 26 % de la población tiene pozo séptico.<sup>8</sup>

Actualmente el Municipio cuenta con oficina de servicios Públicos creada en el mes de marzo del año 2005, esta es la encargada del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, adoptado en el año de 1998.

**1.6.2 Alcantarillado.** El Municipio cuenta con un plan maestro de acueducto y alcantarillado desde el año 2008. La red de distribución funciona por gravedad y el sistema de alcantarillado es de tipo combinado, es decir el agua residual y el agua lluvia van por la misma tubería, está conformado por tubería de GRES (20 m) y Novafort (80%), en diámetros de 8" y 10" <sup>9</sup>. En la **Figura 4** se muestra la tubería de vertimiento del agua residual del Municipio.

Figura 4. Tubería de vertimiento



---

<sup>8</sup> LONDOÑO, Francisco Arq. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Gobernación de Cundinamarca. 2005. P.14

<sup>9</sup> Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, Evaluación integral de prestadores. Bogotá. 2014. p. 12



**1.6.3 Educación y salud.** El Municipio cuenta con dos establecimientos escolares en su cabecera municipal: el primero y más grande es el colegio José María Vergara y Vergara en donde se tiene primaria y secundaria, y el otro es el Jardín Municipal. En donde se encuentran registrados un total de 246 estudiantes, los cuales son provenientes tanto de la parte urbana y rural.

En la actualidad el Municipio cuenta, con un centro de salud ubicada en el área urbana, donde se prestan los servicios básicos.

**1.6.4 Distribución establecimientos comerciales.** En el casco urbano del Municipio predomina el uso de vivienda, la parte comercial es baja<sup>10</sup>, encontrando solo los establecimientos comerciales nombrados en la **Tabla 2** adicional a esto la cabecera Municipal cuenta con un jardín Infantil, una escuela, el colegio y un ancianato. Dentro de las áreas administrativas esta la Alcaldía, la registraduría y la biblioteca.

Tabla 2. Distribución establecimientos comerciales

Establecimiento	Cantidad
Restaurantes	5
Almacenes mercado plaza y grano	10
Panaderías	2
Almacén productos veterinarias	1
Almacenes de ropa	2
Hoteles	2
Peluquerías	2
Famas	4
Ferreterías	2
Papelerías - misceláneas	2
Droguerías	1
Piscina Municipal	1

## 1.7 POBLACIÓN

Bituima tiene una población actual de 490 habitantes en el área urbana y una población total de 2.520 habitantes.

**1.7.1 Proyecciones de la población.** Se estimará un periodo de diseño, según el nivel de complejidad de los sistemas, basado en el RAS 2000<sup>11</sup>, para posteriormente estimar la población por el método aritmético para este periodo.

<sup>10</sup> LONDOÑO, Francisco Arq. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Gobernación de Cundinamarca. 2005. P.16

<sup>11</sup> Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. RAS 2000

**1.7.1.1 Nivel de complejidad del sistema.** La clasificación del sistema depende de la población de la cabecera municipal y de la capacidad económica de estos, de acuerdo al número de habitantes y según la **Tabla 3**, el nivel de complejidad del sistema es bajo.

Tabla 3. Nivel de complejidad del sistema

Nivel de Complejidad	Población en la zona urbana. <sup>(1)</sup> (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios. <sup>(2)</sup>
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	>60000	Alta
Notas: (1). Proyectado al periodo de diseño, incluida la población flotante (2). Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada con método del DNP.		

**Fuente.** Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000 TITULO A)

**1.7.1.2 Periodo de diseño.** El periodo de diseño, fija las condiciones básicas del proyecto como la demanda futura del sistema, y teniendo en cuenta la **Tabla 4** y que el nivel del sistema es bajo, basándonos en la baja población de la cabecera Municipal, se determinó un periodo de diseño a quine (15) años. Este periodo de diseño es empleado en la estimación de la población de diseño.

Tabla 4. Periodo de diseño según el nivel de complejidad

Nivel de Complejidad del Sistema	Periodo de Diseño
Bajo	15 años
Medio	20 años
Medio alto	25 años
Alto	30 años

**Fuente.** Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000 TITULO A)

***PERIODO DE DISEÑO = 15 AÑOS***

**1.7.1.3 Estimación de la población de diseño.** Método aritmético: este método es aplicable a comunidades pequeñas, o ciudades grandes cuyo crecimiento se puede considerar estabilizado<sup>12</sup>. La población futura se calculó con la **Ecuación 1**, teniendo en cuenta la población del último año censado, Población censo inicial, Año correspondiente al último año censado y Año correspondiente al censo inicial.

Ecuación 1. Estimación de la población futura.

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} * (Tf - Tuc)$$

Fuente. Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua. Guía RAS-001. Pág.21.

Donde:

Pf = Población futura (habitantes)

Puc = Población último año censado con información (habitantes)

Pci = Población censo inicial con información (habitantes)

Tuc = Año correspondiente al último año censado con información

Tci = Año correspondiente al censo inicial con información.

$$Pf = 490 + \frac{490 + 482}{2016 + 2004} * (2032 - 2016) = 493.87$$

$$Pf \approx 494 \text{ habitantes}$$

Se realizó este método, debido a que la población es muy pequeña y no cambia considerablemente a través de los años.

**1.7.2 Población servida.** Población que reside actualmente en el Municipio es de 490 habitantes, con el método aritmético se estableció que para el año 2032 este valor aumentaría en 4 habitantes. Para un total de 494. Adicional a este se tienen en cuenta los estudiantes que vienen del área rural que son 156. Para una población servida total de 650 personas.

## 1.8 TRATAMIENTOS SUGERIDOS

Teniendo en cuenta la población, los factores climáticos del Municipio y la ubicación que tienen destinada para la implementación de la planta de tratamiento de agua residual, se sugieren los siguientes tratamientos para el agua residual doméstica.

<sup>12</sup> Método para la estimación de poblaciones futuras [en línea]. Disponible en:

<<http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/dos-metodos-para-la-estimacion-de-poblaciones-futuras/>>

[Consultado 5 de febrero de 2017]

**1.8.1 Pre-tratamiento.** Es un proceso netamente físico, para el acondicionamiento del agua y su pertinente tratamiento posterior, se eliminan los componentes que puedan provocar problemas de operación y mantenimiento.

**1.8.1.1 Rejillas.** Se retiene el material sólido grueso, que posteriormente pueda afectar bombas, aireadores, etc. Generalmente se construye con barras de 6 mm de grosor y una separación de 100 mm<sup>13</sup>.

En el caso del municipio desechos como papel, trapos, frascos, productos de higiene como toallas femeninas, cadáveres de animales, entre otros.

**1.8.1.2 Tamices.** Es el tratamiento posterior a las rejillas, que ayudan a retener un valor más alto de sólidos, para evitar taponamiento en tuberías, es necesario un desnivel entre la entrada y la salida para que su funcionamiento sea correcto<sup>14</sup>.

**1.8.1.3 Desarenadores.** Son estructuras que tienen como función las partículas de tamaño superior a 200 micras como arena, grava y materiales que tengan características de asentamiento, esto protege al equipo mecánico de desgaste anormal y reduce la formación de depósitos en las tuberías, canales y conductos. Además, minimiza la frecuencia de limpieza de los equipos posteriores a este. La disposición de los residuos obtenidos se debe realizar de una manera rápida, debido a que es una arena que contiene impurezas de material orgánico y esto produce malos olores, y atrae insectos. La manera más económica de la disposición es en un relleno sanitario.<sup>15</sup>

Los desarenadores pueden ser limpiados de manera manual o mecánica. Los desarenadores más usados en pequeñas poblaciones son los de flujo horizontal, en el cual el agua pasa a lo largo del tanque en dirección longitudinal. Las partículas se sedimentan al reducirse la velocidad con que son transportadas por el agua. La cantidad de arena removida varía mucho de una zona a otra, esto depende de factores como: características del área de drenaje, tipo de alcantarillado, frecuencia de lavado de calles y población servida según ROMERO<sup>16</sup>. Las partículas de arena de tamaño igual o superior a 0,2 mm, son las más importantes de remover, por lo que estas pueden provocar daños en el sistema.

---

<sup>13</sup> Tipos de tratamientos en aguas residuales. [en línea]. Disponible en:

<<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/residuales/Tipos%20de%20Tratamiento.htm>> [Consultado 21 de febrero de 2017]

<sup>14</sup> Tipos de tratamientos en aguas residuales. [en línea]. Disponible en:

<<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/residuales/Tipos%20de%20Tratamiento.htm>> [Consultado 21 de febrero de 2017]

<sup>15</sup> CORCHO, Fredy. Acueducto, teoría y diseño. Medellín, 2005. Pág., 183-188.

<sup>16</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, 2000. P.293-294

**1.8.2 Tratamientos primarios.** Luego de realizar el pretratamiento, se requiere de un tratamiento primario, el cual remueve sólidos sedimentables, flotantes y coloidales. Además, se consigue una reducción en material biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan están constituidos por materia orgánica. Para esta eliminación se hace uso de tratamientos fisicoquímicos.<sup>17</sup>

Son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Haciendo uso tanto de tratamientos físicos como fisicoquímicos. Se remueven sólidos sedimentables, flotantes y coloidales.<sup>18</sup>

**1.8.2.1 Trampa de grasas.** Las grasas y aceites son provenientes de las basuras producidas por el hombre, estas grasas pueden causar daños en el sistema. Para solucionar este problema lo más conveniente es colocar trampas de grasas y aceites. Estas tienen como objetivo retener las grasas que flotan mientras el agua clarificada sale por una descarga inferior, consta de pequeños tanques de flotación natural, donde aceites y grasa con densidad inferior a la del agua, flotan para ser fácilmente retirados.

En aguas residuales domésticas, el contenido de grasas y aceites puede ser del orden de 30 a 50 mg/L y constituir alrededor del 20% de la DBO<sup>19</sup>

El diseño de la trampa debe ser hidráulico y tener un tiempo de retención suficiente para la remoción de las grasas.

**1.8.2.2 Sedimentación primaria.** Proceso físico de separación por gravedad, la cual hace que las partículas al ser más densas que el agua desciendan al fondo, por esta razón los tiempos de funcionamiento dependen del peso y de la morfología de las partículas.<sup>20</sup>

Permite eliminar los sólidos en suspensión (60 % aproximadamente) y materia orgánica (30 % aproximadamente) y además protegen los procesos posteriores de oxidación biológica.<sup>21</sup>

**1.8.2.3 Coagulación.** En este proceso se adicionan coagulantes químicos para lograr una desestabilización química de las partículas coloidales, también se debe aplicar energía de mezclado. Elimina gran cantidad de sustancias de diversa naturaleza y peso.<sup>22</sup>

---

<sup>17</sup> Monográficos agua en Centroamérica. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Pág 34. 2008.

<sup>18</sup> MANAHAN, Stanley. Introducción a la química ambiental. 2007. México. Pág. 209.

<sup>19</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, 2000. P 727

<sup>20</sup> RAMALHO. R.S. Tratamiento de agua residual. Barcelona, España. 2003. Pág. 92.

<sup>21</sup> Sedimentación. [en línea]. Disponible en: < <http://www.cyclucid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/> > [Consultado 21 de febrero de 2017]

<sup>22</sup> CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. Lima, 2000, p. 9

**1.8.2.4 Floculación.** Es el proceso siguiente a la coagulación, consiste en la agitación de la masa coagulada que permite el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados para aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.<sup>23</sup>

**1.8.3 Tratamientos secundarios.** El tratamiento secundario es importante porque permite acelerar los procesos naturales de eliminación de residuos, en presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables.<sup>24</sup>

Constituye un proceso de naturaleza biológica que hace uso de microorganismos, en especial bacterias, con el fin de eliminar la materia orgánica biodegradable, tanto coloidal como disuelta.

**1.8.3.1 Lodos activados.** Es el tratamiento en el que se mezclan el agua residual y el lodo biológico, estos se airean en un tanque llamado reactor. Los microorganismos convierten la materia orgánica en biomasa y se forman floculos, los cuales se llevan a un tanque de sedimentación y se recirculan al reactor nuevamente.

La mezcla en el reactor se realiza por medios mecánicos superficiales o sopladores sumergidos, lo que produce una mezcla completa además oxigena el medio para un desarrollo efectivo del proceso<sup>25</sup>. En la **figura 5** se muestra un diagrama de lodos activados convencionales.

Este proceso consta de los siguientes elementos:

- Tanque de aireación. Estructura donde el desagüe y los microorganismos (incluyendo retorno de los lodos activados) son mezclados.
- Tanque sedimentador. El desagüe mezclado procedente del tanque es sedimentado separando los sólidos suspendidos (lodos activados), obteniéndose un desagüe tratado clarificado.
- Equipo de inyección de oxígeno. Para activar las bacterias.
- Sistema de retorno de lodos. El propósito de este sistema es el de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación.
- Exceso de lodos y su disposición. El exceso de lodos, debido al crecimiento bacteriano en el tanque de aireación, son eliminados, tratados y dispuestos.

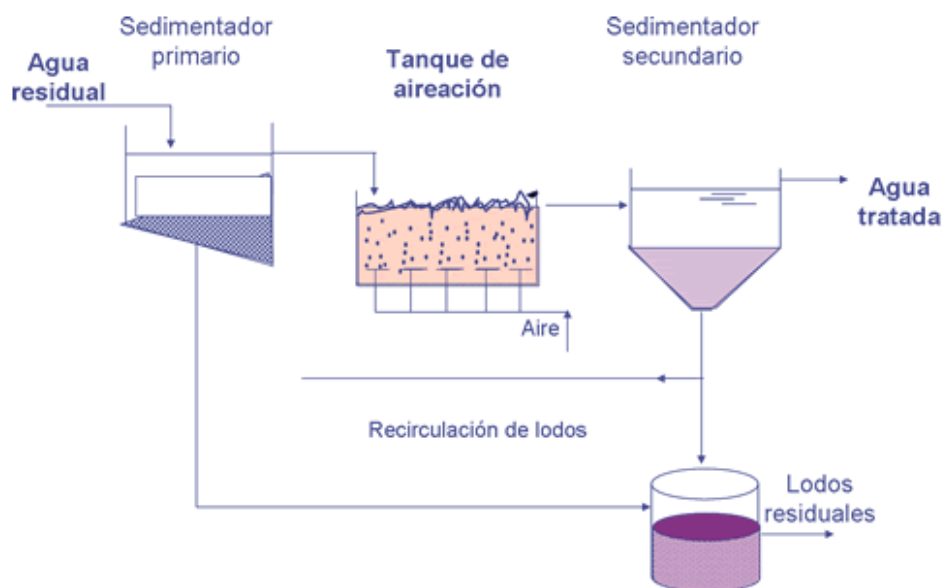
---

<sup>23</sup> CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. Lima, 2000, p. 33

<sup>24</sup> FRAUME, Néstor. Abecedario ecológico. Bogotá, Colombia. 2006.

<sup>25</sup> MANAHAN, Stanley. Introducción a la química ambiental. México. 2007. Pág 211-216.

Figura 5. Diagrama lodos activados convencionales.



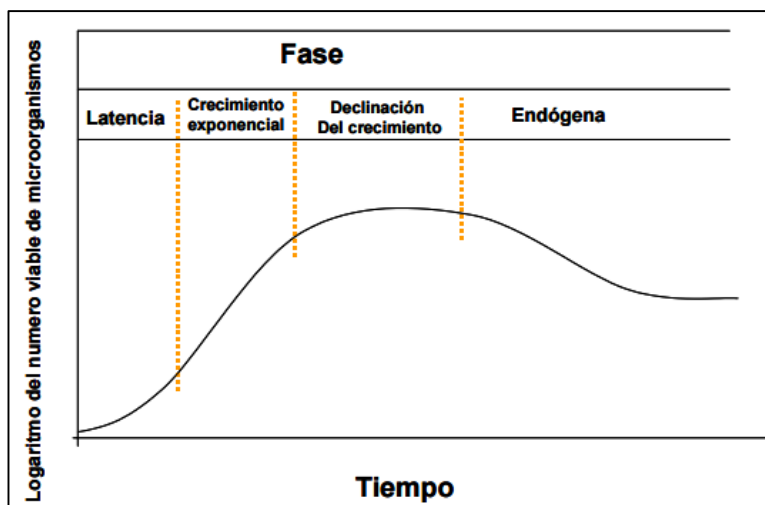
Fuente. Lodos activados convencionales. Tomado de  
<<http://www.Monografías.com/trabajos74/lodos-activados/lodos-activos2.shtml>>

La edad del lodo, es el tiempo que una partícula de este permanece en el reactor. Las bacterias son los microorganismos que en mayor porción conforman la biomasa de los lodos activados, alrededor de un 95% de las bacterias crecen consumiendo la materia orgánica biodegradable como carbohidratos, lípidos y otros.<sup>26</sup>

En términos de masa bacteriana se presenta una fase de latencia (aclimatación), crecimiento exponencial, declinación del crecimiento o fase estacionaria y fase de muerte como se ve en la **gráfica 1**.

<sup>26</sup> MOELLER, G. y TOMASINI ORTÍZ, A.C. Microbiología de los lodos activados. [En línea]. Disponible en: <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf>> p.160 [Consultado el 5 de abril de 2017]

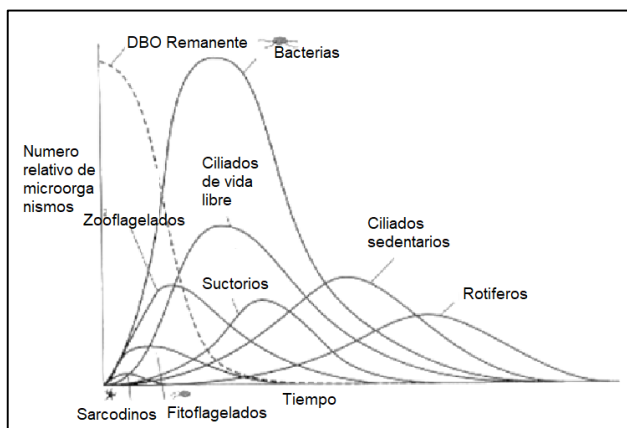
Grafica 1. Fases de crecimiento de los microorganismos



Fuente. MOELLER, Gabriela. Microbiología de lodos activados. Pág. 162

La mayoría de procesos de tratamiento biológico se componen de poblaciones mixtas y complejas en los que cada microorganismo cuenta con una curva de crecimiento como se muestra en la **Grafica 2**. La forma de la curva, sobre una escala de tiempo, dependerá de la disponibilidad de alimento y nutrientes y de factores ambientales tales como la temperatura y el pH, y de si el sistema es aerobio o anaerobio.<sup>27</sup>

Grafica 2. Crecimiento relativo de microorganismos



Fuente. MOELLER, Gabriela. Microbiología de lodos activados. Pág. 163

<sup>27</sup> MOELLER, G. y TOMASINI ORTÍZ, A.C. Microbiología de los lodos activados. [En línea]. Disponible en: <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf>> [Consultado el 5 de abril de 2017]



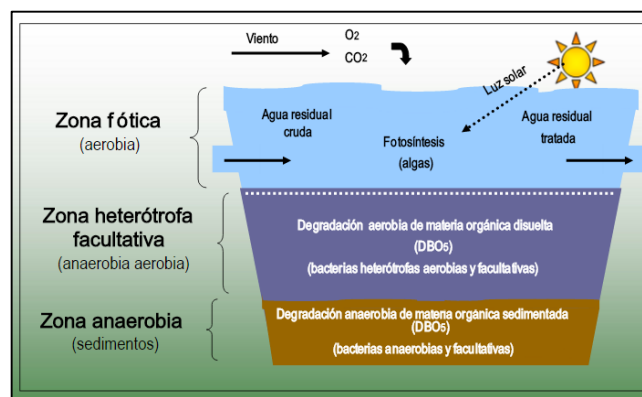
Los organismos más comunes en procesos de lodos activados convencionales son las bacterias organotróficas, las cuales metabolizan la materia orgánica biodegradable, existen más de 300 especies reportadas que han sido aisladas del licor mezclado. Los más comunes son: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Alcaligenes*, *Moraxella* y *Flavobacterium*.<sup>28</sup>

**1.8.3.2 Laguna facultativa** Son aquellas que poseen una zona aerobia (superficie) y una anaerobia (fondo). Buscan estabilizar la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes. En este tipo de lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos, desde anaerobios estrictos hasta aerobios.

El objetivo es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado la estabilización de la materia orgánica, y la reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes. La profundidad de las lagunas facultativas suele estar comprendida entre 1 y 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical. En una laguna facultativa existen tres zonas:

1. Una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica.
2. Una zona inferior anaerobia en la que se descomponen los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.
3. Una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, donde las bacterias facultativas descomponen los residuos.

Figura 6. Diagrama laguna facultativa



Fuente. Tratamiento de agua "laguna facultativa". [En línea]. Disponible en: <http://www.tratamientodelaguna.com.mx/laguna.facultativa/> [Consultado el 7 de Julio de 2017]

<sup>28</sup> MOELLER, G. y TOMASINI ORTÍZ, A.C. Microbiología de los lodos activados. [En línea]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf> [Consultado el 8 de abril de 2017]

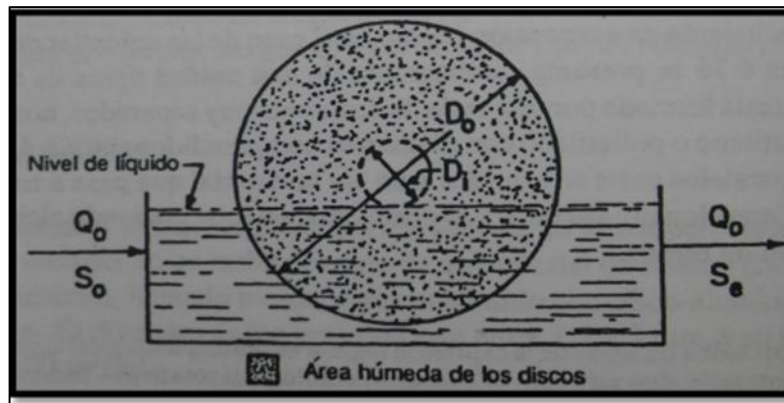
Los sólidos de gran tamaño se sedimentan y forman una capa de fango anaerobio.

Las bacterias aerobias y facultativas oxidan el material orgánico. El dióxido de carbono, que se produce sirve como fuente de carbono para las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango implica la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y el  $\text{CH}_4$ , que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera.<sup>29</sup> En la **figura 6** se muestra Diagrama laguna facultativa.

**1.8.3.3 Biodiscos.** Están compuestos por discos de plástico de 3 a 4 metros de diámetro, con un número mínimo de cuatro etapas, que tienen un tanque de concreto para realizar un proceso biológico aeróbico, utilizado principalmente para la remoción de materia orgánica.

Los discos giran a velocidades entre 1 y 2 revoluciones por minuto (r.p.m), aproximadamente el 40% del área superficial de los discos está sumergida en el agua residual. Los microorganismos presentes en el agua se fijan y crecen, formando una película biológica de 2 a 4 milímetros de espesor. El consumo de oxígeno y la remoción de la materia orgánica se efectúan mientras que el sistema gira a través del agua residual.<sup>30</sup> En la **figura 7** se muestra un diagrama de un sistema de biodiscos.

Figura 7. Diagrama biodiscos



Fuente: Ramalho, R.S., 1996. Introduction to Wastewater Treatment Processes. Second Edition. Editorial Reverté S.A Barcelona.

<sup>29</sup> Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. Capítulo IV .Lagunas de estabilización, p. 50-53

<sup>30</sup> MARTÍNEZ, Alma. Biodiscos: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno. Vol. 13; no. 3. TECNOLOGÍA EN MARCHA, p.57

## 1.9 NORMATIVIDAD

El Municipio se rige actualmente por la resolución 631 de 2015, pero para el 2020 se requiere cumplir con los objetivos de la cuenca del río Negro bajo la resolución 3461 de 2009, los parámetros a lograr son los siguientes:

**1.9.1 Resolución 631 de 2015.** La resolución establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deben cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. En el capítulo V, artículo 8 se muestran los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas procedentes de actividades industriales, comerciales o de servicio. Estos parámetros se muestran en la **Tabla 5**. ARD1 y ARD 2 en lista de abreviaturas.

Tabla 5. Parámetros y valores límites máximos permisibles de vertimientos a cuerpos de agua superficial.

PARAMETRO	UNIDADES	ARD 1	ARD 2
GENERALES			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	200,00	180,00
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO5)	mg/L O <sub>2</sub>		90,00
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	mg/L O <sub>2</sub>	100,00	90,00
SOLIDOS SEDIMENTABLES (SSED)	ml/L	5,00	5,00
GRASAS Y ACEITES	mg/L	20,00	20,00
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	mg/L		Análisis y Reporte
HIDROCARBUROS			
HIDROCARBUROS TOTALES (HTP)	mg/L		Análisis y Reporte
COMPUESTOS DE FOSFORO			
ORTOFOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L		Análisis y Reporte
FOSFORO TOTAL	mg/L		Análisis y Reporte

Tabla 5. (Continuación)

COMPUESTOS DE NITROGENO			
NITRATOS (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L		Análisis y Reporte
NITRITOS (N-NO <sub>2</sub> )	mg/L		Análisis y Reporte
NITROGENO AMONICAL (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L		Análisis y Reporte
NITROGENO TOTAL	mg/L		Análisis y Reporte
TEMPERATURA	°C		< 40
CAUDAL	L/s		No Especificado
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100ML		No especificado

Fuente. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 631 de 2015. [Citado febrero de 2017]. Disponible en: < [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf) >

Para los parámetros que no exigen valor máximo, se debe realizar un análisis y reporte, para tener un control de los parámetros.

**1.9.2 Resolución 3461 del 2009.** La cual establece los objetivos de calidad de la cuenca del río Negro, a lograr en el año 2020. Este estudio fue elaborado por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), que recoge las evaluaciones de calidad cualitativa y cuantitativa disponibles respecto al recurso. Según la clasificación de usos del agua para la cuenca y los valores de los parámetros de calidad a aplicar, se realiza una clasificación del agua, la cual se describe en el artículo segundo clase I, correspondiente a los valores de los usos del agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, uso agrícola y uso pecuario. Dichos parámetros se registran en la **Tabla 6** con sus respectivos valores límites.

Tabla 6. Objetivo de calidad de la cuenca del Rio Negro

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	VALOR MAS RESTRICTIVO
<b>PARAMETROS ORGANICOS</b>		
DBO	mg/L	7
OD	mg/L	> 4
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	5.000
<b>PARAMETROS NUTRIENTES</b>		
	0,1	
NITRATOS	mg/L	10
NITRITOS	mg/L	1
<b>SOLIDOS</b>		
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	1.500
<b>PARAMETROS DE INTERES SANITARIO</b>		
ARSENICO	CL 96/50	0,1
BARIO	CL 96/50	0,1
BERILIO	CL 96/50	0,1
CADMIO	CL 96/50	0,01
CIANURO LIBRE	CL 96/50	0,05
CINC	CL 96/50	0,01
COBRE	CL 96/50	0,1
<b>PARAMETRO</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>VALOR MAS RESTRICTIVO</b>
COMPUESTOS FENOLICOS	mg/L	0,002
CROMO	CL 96/50	0,01
DIFENIL POLICLORADOS	Concentración de agente activo	No Detectable
MERCURIO	mg/L	0,0002
NIQUE	CL 96/50	0,01
PLATA	CL 96/50	0,01
PLOMO	CL 96/50	0,01
SELENIO	CL 96/50	0,01
<b>OTROS PARAMETROS</b>		
ALUMINIO	mg/L	5
AMONIACO	CL 96/50	0,1
BORO	mg/L	0,3-4
CLORO TOTAL RESIDUAL	CL 96/50	0,1
CLOROFENOLES	mg/L	0,5
CLORUROS	mg/L	250
COBALTO	mg/L	0,05
COLOR	Unidades escala platino-cobalto	75
DIFENIL	Concentración de agente activo	0,0001
FENOLES MONOHIDRICOS	CL 96/50	1
FLUOR	mg/L	1
GRASAS Y ACEITES	% solidos secos CL 96/50	0,01
HIERRO	CL 96/50	0,1
LITIO	mg/L	2,5
MANGANESO	CL 96/50	0,1

Tabla 6. (Continuación)

PARAMETRO		EXPRESADO COMO	VALOR MAS RESTRICTIVO
MOLIBDENO		mg/L	0,01
Ph		Unidades	5.5-9,0
PLAGUISIDAS	ORGANO-	Concentración de agente activo CL 96/50	0,001
COLORADOS			
PLAGUISIDAS	ORGANO-	Concentración de agente activo CL 96/50	0,05
FOSFORADOS			
SALES		mg/L	3.000
SULFATOS		mg/L	400
SULFURO DE HIDROGENO		mg/L	0,0002
IONIZADO			
TENSOACTIVOS		CL 96/50	0,143
TURBIEDAD		Unidades Jakson de Turbiedad (UJT)	10
VANADIO		mg/L	0,1

Fuente. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Boletín extraordinario. Resolución 3461 del 2009, Art. 2 clase I. [Citado febrero de 2017]. Pág. 6.

## 2.DIAGNÓSTICO.

Se realiza un diagnostico fisicoquímico para conocer las diferentes características del agua residual de Bituima, para determinar en qué condiciones se encuentra el agua.

Se realiza una medición del caudal, necesaria para el dimensionamiento posterior de equipos y análisis físico-químicos como pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), solidos suspendidos totales y sedimentables, tensoactivos, grasas y aceites, Hidrocarburos, Fosforo, Nitratos y Nitritos y Nitrógeno total y amoniacal.

Esto permite conocer el verdadero estado de las aguas y analizar posibles tratamientos efectivos que lleven a cumplir la norma.

Los estudios en el año 2015 fueron realizados por la CAR, en los meses de julio, agosto y septiembre, estos análisis fueron suministrados por el Municipio.

En el mes de diciembre de 2016 se realiza un nuevo estudio, la toma de muestras y análisis de los parámetros establecidos en este mes fue desarrollada por BIOPOLAB Ltda., laboratorio acreditado ante el IDEAM mediante la Resolución 1433 del 24 de Junio de 2014 y Resolución de extensión 316 de 2016 para análisis y muestreo compuesto y puntual de aguas superficiales y residuales. Este estudio se realizó con el objetivo de comparar el resultado obtenido con los realizados por la CAR en el año 2015 y de esta manera tener valores para analizar.

Los resultados obtenidos en el año 2015 y 2016 se comparan en la **Tabla 7** con la resolución 631 de 2015 y la resolución 3461 de 2009, para determinar cuáles parámetros no cumple el municipio.

Los parámetros sombreados en gris son aquellos que no cumplen con la normativa.

En los parámetros donde se pide análisis y reporte, no se exigen un límite o valor determinado, sino solo el reporte para tener un control del parámetro.

Tabla 7. Comparación de los resultados fisicoquímicos con las normativas

RESULTADOS AGUA RESIDUAL BITUIMA CUNDINAMARCA							
PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO 07 DE 2015	RESULTADO 08 DE 2015	RESULTADO 09 DE 2015	RESULTADOS 12 DE 2016	RESOLUCIO N 0631 DE 2015	OBJETIVOS DE CALIDAD CUENCA
Aceites y Grasas	mg/L	29.3	53.3	573	21.6	20	0.01
Cloruros	mg/L	24.3	21.3	63.9			250
Color	Unidades co/pt	40	40	500			75
Conductividad de Campo	µS/cm	870	777	1023			3000
DBO	mg O2/L	111	70	740	31.8	90	7
DQO	mg O2/L	265	254	3454	63.7	180	
Dureza Total	mg Caco3/L	417	287	434			
Fenoles	mg fenol/L	0.05	0.062	0.09			0.002
Fosforo Total	mg P/L	1.88	3.007	36.88	2.68	Analisis y Reporte	0.1
N. Amoniacal	mg N-NH3/L	14.41		10.1	3.42	Analisis y Reporte	0.1
N. Nitrato	mg N-NO3/L		1.17	8.91	5.9	Analisis y Reporte	10
N. Nitrito	mg N-NO2/L		0.024	5.245	0.407	Analisis y Reporte	1
Oxigeno Disuelto	mg O2/L	3.6	4.2	0			>4
pH	Unidades	8	8.1	7.5	7.7	6,0-9,0	5,5-9,0
Solidos Sedimentables	ml SST/L	0.1		23	1.6	5	
Solidos Suspendidos	mg-SST/L	100	50	1867	62.3	90	100-2000
Sulfatos	mg SO4/L	98.5	79.8	75.6			400
Sulfuros	mg/L		2.4				
Turbidez	NTU	7.66E+01	35.9	790			
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1.00E+07	9.20E+06	1.10E+09	1.E+05	No Especifica	1.E+03
E. Coli	NMP/100 ml	3.70E+06	5.50E+06	5.00E+08			2.E+03
Calcio	mg Ca/L	148	102	142			
Hierro	mg Fe/L	0.4		8.14			0.1
Magnesio	mg Mg/L	11.32	7.69	18.9			
Temperatura	°C	23.3	23.4	23.9	25.7	<40	
surfactantes				4.22	4.07	Analisis y Reporte	0.143
potasio				34.67			
Hidrocarburos					3.37	Analisis y Reporte	
Orto-Fosfato					85.9	Analisis y Reporte	
sodio				40.26			
CAUDAL	L/S	3.56	1.45		4.65		



Los datos más críticos según la **Tabla 7** se presentan en el mes de septiembre del año 2015, esto puede ser debido a actividades realizadas como cabalgatas y campañas para elección de alcalde, donde el municipio recibe mayor cantidad de población, adicional a esto fue un mes seco la precipitación promedio para este mes fue de 130 mm, para el mes de Octubre fue de 253 mm, para noviembre de 262 mm y para Diciembre de 144 mm<sup>31</sup>, lo que provoca que haya una mayor concentración de contaminante en el agua residual.

En cuanto a los resultados de diciembre de 2016, la precipitación fue baja como se presentó anteriormente, pero sin embargo algunos parámetros son bajos, pues no se encuentra en funcionamiento el colegio y las actividades del municipio disminuyen considerablemente. Este mes fue lluvioso, por lo que la concentración de contaminantes es menor al tener un mayor volumen de agua.

Para los cálculos posteriores se tendrá en cuenta los valores más críticos es decir los del mes de septiembre. Se tomará como parámetro de control la DBO del mes crítico (septiembre de 2015) para los cálculos.

A continuación, se presenta el diagnóstico del muestreo realizado en diciembre de 2016 por parte de BIOPOLAB LTDA, donde se evaluaron los parámetros fisicoquímicos como: demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos sedimentables totales, nitrógeno amoniacal, grasas y aceites, fósforo total, coliformes fecales, temperatura, hidrocarburos, surfactantes y pH.

## **2.1 MEDICIÓN DEL CAUDAL**

Se realizó por método volumétrico, utilizando un cronómetro y un recipiente con una capacidad de 24 L, midiéndose el tiempo de llenado.

Este se realiza en el punto de vertimiento del agua residual, se toma la medición del caudal cada 30 minutos por un periodo de 8 horas. La salida del vertimiento está ubicada a la entrada del pueblo a 100 metros de la carretera en el costado Nor-oriental.

Para el seguimiento realizado en diciembre del 2016 se obtuvo un caudal promedio de 4,65 (L/s), donde se tienen en cuenta tanto los vertimientos de agua residual, como el canal de agua lluvia.

Por tratarse de un caudal que se midió para un día de la semana, el cual no tiene presente ni la temporada seca, ni lluviosa del Municipio, se realiza una relación entre este y la población para determinar el consumo per-cápita. Basándose en el RAS 2000.

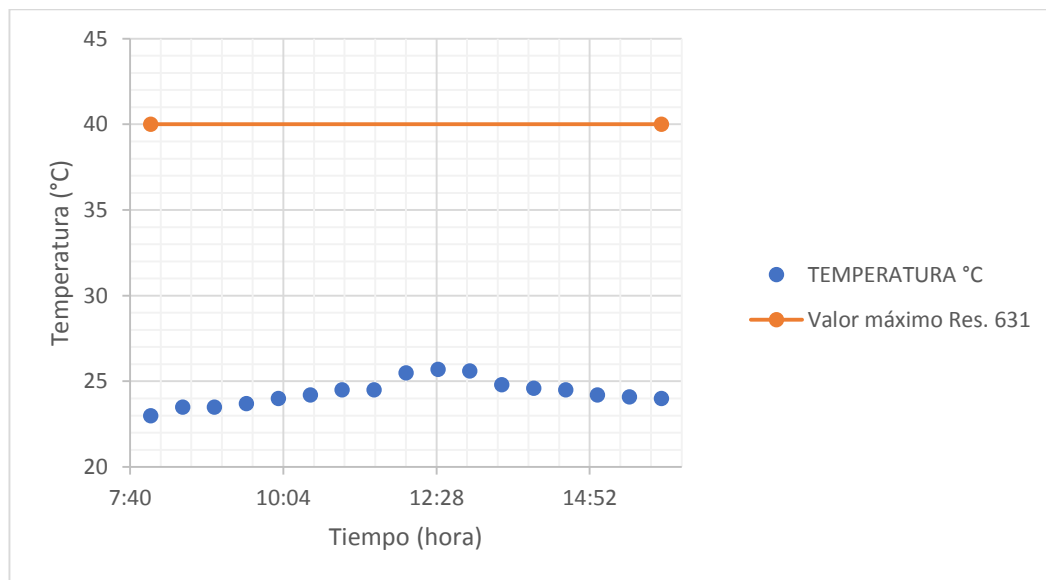
---

<sup>31</sup>CLIMA: BITUIMA. [en línea]. Disponible en: < <https://es.climate-data.org/location/49830/> > [Consultado 29 de Julio de 2017]

## 2.2 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA

La temperatura es un factor muy importante para la regulación de procesos vitales en los microorganismos<sup>32</sup>. Dicho lo anterior se debe tener un control de la temperatura, para que no se afecte el crecimiento de los microorganismos. Esta se midió en el sitio de muestreo mediante una termocupla. El muestreo fue de 8 horas, y se tomó la temperatura cada 30 minutos a la respectiva muestra, así:

Grafica 3. Medición de la temperatura



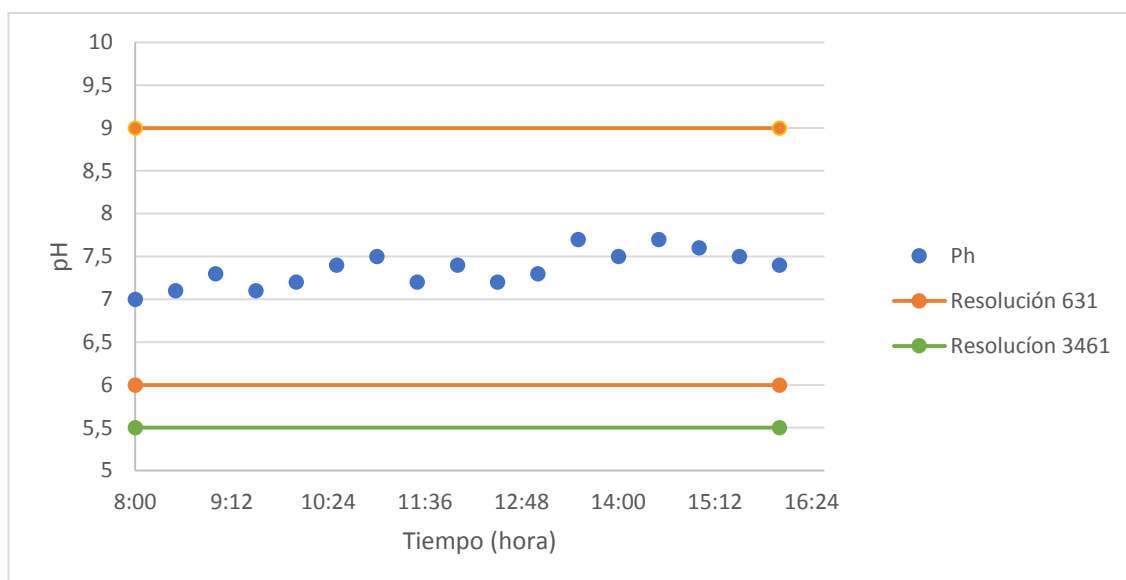
El parámetro de temperatura en el vertimiento registro un valor máximo de 25,7 °C, los valores reportados se encontraron dentro de los límites máximos permisibles establecidos por el artículo 8 de la resolución 631 de 2015, el cual indica que debe estar por debajo de 40°C, como se muestra en la **Gráfica 3**. Para los objetivos de calidad de la cuenca del río negro no se realiza ningún reporte para este factor, pues la normativa no pide este parámetro.

## 2.3 MEDICIÓN DE pH

La medición del potencial de hidrogeno (pH) es necesario para un adecuado funcionamiento de procesos aerobios, al este favorecer un buen desarrollo y crecimiento de la biomasa. Esta medición se realizó en el sitio de la toma de muestra con una frecuencia de 30 minutos por un periodo de 8 horas. El equipo utilizado fue un potenciómetro portátil marca HANNA, previamente calibrado.

<sup>32</sup> PARAMETROS FISICO-QUIMICOS: TEMPERATURA. SEGUNDA PARTE. [en línea]. Disponible en: <<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-temperatura.pdf>> [Consultado 2 de marzo de 2017]

Grafica 4. Seguimiento de pH



El pH presenta valores en un rango de 7,0 – 7,70 unidades de pH como se ve en la **Grafica 4**, los valores registrados se encuentran dentro del rango establecido por el Artículo 8 de la Resolución 631 de 2015. Los cuales deben estar entre 6,0 a 9,0. Para los objetivos de la cuenca del río Negro también se encuentran dentro del rango permitido, este establece valores de 5,5 – 9,0 unidades de pH.

## 2.4 MEDICIÓN DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar o estabilizar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. El DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, el cual permite determinar: La cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras.<sup>33</sup> Para la medición de este parámetro se realizó un DBO<sub>5</sub>, donde a la muestra se le suministraron sustratos y de esta manera se incubó por 5 días a 20 °C en ausencia de luz y se midió el oxígeno disuelto al inicio y final de la prueba.

Según la Resolución 631 este valor debe estar por debajo de los 90 mgO<sub>2</sub>/L. Según la Tabla 7 este parámetro no se cumplió en ninguno de los resultados del año 2015 y en el resultado del año 2016 si se encuentra en el límite permitido.

En relación al objetivo de calidad de la cuenca este valor debe estar por debajo de 7 mgO<sub>2</sub>/L, por lo que no cumple ninguno de los resultados.

<sup>33</sup>ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, 2000, p. 38

## 2.5 MEDICIÓN DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

La demanda química de oxígeno corresponde al valor de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra.<sup>34</sup> El mes más crítico analizado (septiembre de 2015) el cual mostró un resultado de 3454 mgO<sub>2</sub>/L, para la resolución 631 este parámetro debe estar por debajo de 180 mgO<sub>2</sub>/L y el objetivo de la cuenca no especifica este valor.

## 2.6 MEDICIÓN ACEITES Y GRASAS

Las grasas y aceites interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, pues no permiten el paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO<sub>2</sub> del agua; en algunos casos pueden producir la acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar.<sup>35</sup> La resolución 631 de 2015 nos parametriza este valor en 20 mg/L este valor no se cumple en ninguno de los meses analizados de los años 2015 y 2016, estas provienen generalmente de la mantequilla, manteca, margarina, aceites vegetales y carnes.

## 2.7 MEDICIÓN FÓSFORO TOTAL

El fósforo favorece el crecimiento de las algas planctónicas, las cuales son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico<sup>36</sup>. Este parámetro en el objetivo de calidad de la cuenca debe estar en un valor 0,1 mg-P/l y no se cumple en ningún mes analizado. En el caso de la resolución 631 solo pide el análisis y el reporte del parámetro.

## 2.8 MEDICIÓN NITROGENO AMONIACAL

El amoníaco es uno de los componentes transitorios en el agua puesto que es parte del ciclo del nitrógeno. Las aguas superficiales no deben contener normalmente amoníaco. En general, la presencia de amoníaco es considerado como una prueba química de contaminación. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos<sup>37</sup>. Para cumplir con los objetivos de la cuenca este valor debe estar por debajo de 0,1 mg-NH<sub>3</sub>/L, lo cual no se cumple en el agua residual del Municipio.

---

<sup>34</sup> RAMALHO, R.S., (1996). Introduction to Wasterwater Treatment Processes. Second Edition. Editorial Reverté S.A Barcelona.

<sup>35</sup> TOAPANTA, María. Calidad del Agua: Grasas y aceites [en línea]. Disponible en: <<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/.../GRASASYACEITES.docx>> [ Consultado 10 de marzo de 2017] pag.3

<sup>36</sup> PUTZ, Petra. Eliminación y determinación de fosfato [en línea]. Disponible en: <<http://www.interempresas.net/quimica/articulos/37743-eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html>> [Consultado 10 de marzo de 2017]

<sup>37</sup> Nitrógeno amoniacal [en línea]. Disponible en: <<http://roble.pntic.mec.es/~mbedmar/iesao/quimica/nitrogen.htm>> [Consultado 10 de marzo de 2017]

## 2.9 MEDICIÓN NITRATOS Y NITRITOS

En la resolución 631 únicamente se pide el análisis y reporte de los datos, para el objetivo de calidad de la cuenca el valor de nitrato debe estar en el valor de 1 mg/L y en los nitritos de 10 mg/L. En cuanto a los nitratos se cumple, pero para los nitritos se reporta un valor mayor al del objetivo.

## 2.10. MEDICIÓN OXIGENO DISUELTO (OD)

El oxígeno disuelto se necesita para una buena calidad del agua. Los procesos de purificación naturales de la corriente requieren niveles de oxígeno adecuados para facilitar las formas de vida aeróbicas<sup>38</sup>. Para cumplir el objetivo de calidad de la cuenca este valor debe estar por encima de 4 mg/L, lo cual no se cumple, se presentan valores menores a este, en algunos casos se ha registrado valores de 0 lo que indica que el agua residual presenta condiciones de Anoxia e hipoxia lo que quiere decir esto, es que hay una desaparición de organismos y especies sensibles.<sup>39</sup>

## 2.11 MEDICIÓN COLIFORMES TOTALES

Los coliformes pertenecen a las bacterias gram negativas. Se usan como organismo indicador de contaminación o como indicador de la existencia de organismo productor de enfermedad.<sup>40</sup> La resolución 631 no especifica este parámetro. Para el objetivo de calidad de la cuenca este parámetro debe estar en 1000 nmp/100 mL, valor que es sobrepasado en el Municipio en los años 2015 y 2016 como se muestra en la **Tabla 7**.

## 2.12. MEDICIÓN *E. coli*

Para cumplir el objetivo de calidad de la cuenca este parámetro debe estar en 2000 nmp/100mL, el cual no se cumple pues la muestra registra un valor 140.000 nmp/100mL. Se considera como la población de bacterias coliformes más representativa de contaminación fecal.<sup>41</sup>

---

<sup>38</sup> Milacron Mexicana Sales, S.A. ¿Por qué es importante el oxígeno disuelto?. México, 2004.

<sup>39</sup> SORREQUIETA, Augusto. Aguas residuales: Reuso y tratamiento. Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica. Juno de 2004. Pág, 8.

<sup>40</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, 2000, p. 36

<sup>41</sup> LARREA, Jeny y ALVAREZ, Beatriz. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas. Volumen 44. Año 2013.

## 2.13 MEDICIÓN HIERRO

Para cumplir la Resolución 631 no se especifica este valor. En objetivo de calidad de la cuenca se especifica en 0.1 CL 96/50, sobrepasando este límite en algunas mediciones realizadas en el Municipio. El hierro se encuentra como trazas en muchas aguas, y son necesarios para la vida biológica. Pero cuando alcanzan altas concentraciones pueden resultar tóxicos, inhabilitando el agua para algunos usos y acumulándose en los organismos y microorganismos acuáticos.<sup>42</sup>

Una vez comparados los resultados con la normativa se concluye que el estado del agua residual del municipio de Bituima, no tiene la calidad para ser vertida a cuerpos de agua superficial.

No se cumplen parámetros como: Aceites y grasas, DBO, DQO, fenoles, fosforo total, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, coliformes totales, e. coli, hierro y surfactantes. Para mejorar la calidad del agua vertida se hará una selección de alternativa.

---

<sup>42</sup> ESPIGARES GARCÍA, M. y PEREZ LOPEZ, J.A. Aguas residuales, Composición. [En línea]. Disponible en: < [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf) > [Consultado el 10 de marzo de 2017]

### 3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Seleccionar los tratamientos apropiados para el tratamiento de aguas residuales contempla la identificación de la mejor alternativa que garantice la remoción de los contaminantes. Dicha identificación requiere de un análisis de las ventajas y desventajas de las tecnologías posibles. Además, se deben considerar variables como: caudal de diseño, costo del sistema en la etapa de inversión, costo de operación y mantenimiento, área requerida para su construcción, complejidad de la tecnología, producción de olores, generación de lodos y gases.

#### 3.1. CÁLCULO DE CAUDAL DE DISEÑO

Teniendo en cuenta la dotación neta determinada por el RAS 2000, el nivel de complejidad del sistema y la estimación del coeficiente de retorno se calcula un caudal doméstico el cual nos lleva a determinar el caudal de diseño de la PTAR.

**3.1.1 Dotación neta mínima y máxima.** La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades de un habitante y depende del nivel de complejidad del sistema, cuyos valores se establecen en la siguiente tabla.

Tabla 8. Dotación neta mínima y máxima

Nivel de complejidad del Sistema	Dotación neta mínima (L/hab * día)	Dotación neta máxima (L/hab*día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio Alto	130	-
Alto	150	-

Fuente. Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000 TITULO B)

Segun la **Tabla 8** para un nivel de complejidad bajo la dotacion minima requerida es de 100 (L/hab-dia) y la maxima de 150 (L/hab-dia). Por lo que se toma el valor maximo para un funcionamiento adecuado de la planta de tratamiento de agua residual.

**3.1.2 Corrección de la dotación neta.** La dotación neta se puede ajustar teniendo en cuenta el clima sobre el consumo. En niveles de complejidad bajos y medios este valor no puede superar el 20% de la dotacion ya establecida. Para determinar la corrección de la dotación se usa la **Ecuación 2**.

Tabla 9. Corrección de la dotación neta

Nivel de Complejidad del sistema	Clima cálido (Mas de 28 °C)	Clima templado (Entre 20 °C y 28 °C)	Clima frío (Menos de 20 °C)
Bajo	+ 15 %	+ 10 %	No se admite correccion por clima
Medio	+ 15 %	+ 10 %	
Medio Alto	+ 20 %	+ 15 %	
Alto	+ 20 %	+ 15 %	

Fuente. Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000 TITULO B)

Según la **Tabla 9** se toma una correccion del 10% debido a que es un sistema de complejidad bajo y clima templado del Municipio.

Ecuación 2. Corrección de la dotación neta

$$DOTACIÓN NETA CON CORRECCIÓN = 150 \frac{L}{hab * dia} + \left( 150 \frac{L}{hab * dia} * 10\% \right)$$

$$DOTACIÓN NETA CON CORRECCIÓN = 165 \frac{L}{hab * dia}$$

### 3.1.3 Estimación coeficiente de retorno .

El coeficiente de retorno es la fracción de agua de uso doméstico, entregada como aguas negras al sistema de recolección de aguas residuales. Dicho coeficiente se estima a través del RAS 2000 literal D 3.2.2.1

Tabla 10. Coeficiente de Retorno

Nivel de Complejidad del Ssitema	Coeficiente de Retorno
Bajo y Medio	0.7 – 0.8
Medio Alto y Alto	0.8 – 0.85

Fuente. Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000 TITULO D)

Según la **Tabla 10** para un nivel de complejidad bajo el coeficiente de retorno se encuentra en un rango de 0.7 a 0.8. Tomando como el máximo valor de coeficiente de retorno 0.8 para la determinación de caudal de diseño.



**3.1.4 Contribuciones agua residual.** El volumen de agua residual aportado por el sistema de alcantarillado esta integrado por aguas residuales domésticas, industriales, institucionales y comerciales.

**3.1.4.1 Caudal domestico.** *El caudal domestico se calcula con la **Ecuación 3**, donde se debe tener en cuenta Consumo percapita, población servida y coeficiente de retorno.*

Ecuación 3. Determinación caudal domestico

$$Q_D = \frac{C * P * R}{86400}$$

Fuente. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D. Pag. 51.

Donde:

Q<sub>D</sub>= Caudal de diseño

C= Consumo percapita

P= Poblacion servida

R= Coeficiente de retorno

$$Q_D = \frac{165 * 650 * 0.8}{86400}$$

$$Q_D = 0.99 \text{ L/s}$$

**3.1.4.2 Caudal industrial (Q<sub>I</sub>).** Para el municipio de Bituima no se toma en cuenta un caudal industrial, debido a que no se presenta ninguna actividad relacionada.

**3.1.4.3 Caudal comercial (Q<sub>C</sub>).** Este caudal debe estar relacionada en zonas netamente comerciales, se debe justificar con un estudio de dicho caudal, basados en el consumo por persona. Para zonas mixtas entre comerciales y residenciales pueden ponderarse los caudales. En el caso de Bituma dichas aguas se combinan en el alcantarillado obteniendo un solo caudal, esto sucede por que las catividades comerciales son manejadas a nivel familiar, constituyendose en aportes domésticos.

**3.1.4.4 Caudal institucional (QIN).** Los aportes de aguas residuales institucionales incluyen: la escuela, colegio, jardín, puesto de salud, estación de policía, biblioteca, ancianato y alcaldía Municipal. Estas aguas residuales se mezclan al alcantarillado obteniendo un solo caudal para toda la cabecera Municipal. El aporte de las instituciones fueron consideradas como consumo medio diario por habitante.

**3.1.5 Caudal medio diario de aguas residuales (Q<sub>MD</sub>).** Como se muestra en la **Ecuación 4**, el caudal medio diario es la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

Ecuación 4. Determinación caudal medio diario

$$Q_{(MD)} = Q_D + Q_I + Q_C$$

Fuente. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D. Pag. 56. Dponible en: [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO\\_D.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf)

$$Q_{(MD)} = Q_D$$

$$Q_{(MD)} = 0,99 \frac{L}{s}$$

**3.1.6 Caudal máximo horario (Q<sub>MH</sub>).** Es la base para establecer el caudal de diseño, es el máximo consumo que se espera realice la población en un periodo de tiempo. El caudal máximo horario del día se estima como la **Ecuación 5**, apartir del caudal final medio horario y el uso de un factor de mayoración F.

Ecuación 5. Determinación caudal máximo horario

$$Q_{(MH)} = F * Q_{(MDF)}$$

Fuente. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D. Pag. 56. Dponible en: [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO\\_D.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf)

**3.1.6.1 Factor de mayoración.** El factor de mayoración se utiliza para calcular el caudal máximo horario con base en el caudal medio diario final. La variación del factor de mayoración debe ser estimada a partir de mediciones de campo. Sin embargo, estos valores se pueden estimar cuando la medición no es factible mediante relaciones como Harmon, Babbitt y flores, en donde F se estima según el numero de habitantes. Estas relaciones se representan en las **Ecuaciones 6, 7 y 8** respectivamente.

Ecuación 6. Relación Harmon

$$HARMON \quad F = 1 + \frac{14}{(4 + P^{0,5})}$$

Fuente. PADILLA, Maria. Diseño de la red de alcantarillado sanitario y pluvial del corregimiento de la mesa – cesar. Pág 62.

Ecuación 7. Relación Babbitt

$$BABBIT \quad F = \frac{5}{P^{0,2}}$$

Ecuación 8. Relación Flores

$$FLORES \quad F = \frac{3,5}{P^{0,1}}$$

En general el valor de F debe ser mayor o igual 1,4.<sup>43</sup>

Tabla 11. Factor de mayoración

Ecuaciones	Valor de F
<b>HARMON</b>	1,47
<b>BABBIT</b>	1,37
<b>FLORES</b>	1,83

Para estimar el caudal máximo horario, se toma el mayor valor de mayoración. Este valor es de 1.83 según la **Tabla 11**.

El caudal máximo horario: se determina por medio de la **Ecuación 5**, teniendo en cuenta el caudal final medio horario y el factor de mayoración como se había mencionado.

Tabla 12. Determinación de caudal máximo horario

Caudal final medio horario (Q <sub>MDF</sub> )	<b>0,99 L/s</b>
Factor de mayoración (F)	1,83
Caudal máximo horario (Q <sub>MH</sub> )	1.81 L/s

Se obtuvo un caudal máximo horario de 1.81 L/s como se ve en la **Tabla 12**.

<sup>43</sup> PADILLA, Mayra. Diseño de la red de alcantarillado sanitario y pluvial del corregimiento de la Mesa- Cesar. Bogotá, Colombia. 2009. Trabajo de grado. Pág., 62.

**3.1.7 Caudal de diseño.** Este caudal es el correspondiente al volumen de agua que llegan al punto de vertimiento Municipal. El objetivo de este valor es tener un dato mas exacto de la cantidad de agua que se va a manejar en la PTAR, para esto se utiliza la **Ecuación 9**.

Ecuación 9. Determinación caudal de diseño

$$Q_D = Q_{MH} + Q_{INF}$$

Los caudales de infiltraciones de aguas superficiales ( $Q_{INF}$ ) y los aportes de agua lluvia, no fueron consideradas dentro del cálculo del caudal doméstico per-capital, pero estas aguas son vertidas dentro de la tubería agua residual, obteniendo aguas combinadas, este caudal fue medido de manera individual con el método volumétrico arrojando un valor de 0,59 L/s, hay que tener en cuenta que dentro de la cabecera Municipal se encuentran dos nacimientos de agua los cuales son llevados al alcantarillado y que el día que se tomo la muestra se tenían condiciones climaticas con lluvia.

$$Q_D = 1,81 \frac{L}{s} + 0,59 \frac{L}{s}$$

$$Q_D = 2,4 \frac{L}{s}$$

## 3.2 MATRIZ DE SELECCIÓN DE TRATAMIENTO

Para la selección del tratamiento se toma en cuenta que la relación DBO-DQO es aproximadamente 1:5, esta relación se analiza con el resultado del mes más crítico, el cual registra un DQO de 3454 mgO<sub>2</sub>/L y un DBO de 740 mgO<sub>2</sub>/L. “Los sistemas que están en este intervalo,  $2.5 < (DQO/DBO) < 5$ , son altamente biodegradables, siendo recomendable el empleo de sistemas biológicos.”<sup>44</sup>. Por esto directamente se evalúan los posibles sistemas biológicos que se pueden emplear, pues el valor de DBO establecido por el objetivo de la cuenca en la Resolución 3461 de 2009 es muy bajo (menor a 7) y por lo tanto se necesita una alta eficiencia de remoción de DBO que es el parámetro de control.

La selección se realiza con las opciones más viables para el municipio, evaluados mediante una matriz, en la que se consideran sistemas aerobios pues tienen una gran ventaja que es una buena eficiencia para la depuración de compuestos orgánicos<sup>45</sup> entre los que se destacan laguna facultativa, lodos activados y

<sup>44</sup> CISTERNA OSORIO, Pedro. Determinación de la relación DQO/DBO en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región, p.10

<sup>45</sup> PÉREZ ARISTIZÁBAL, Juan. Aplicación y evaluación de un reactor de contactores biológicos rotativos (RBC o biodiscos) a escala laboratorio como tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la pradera. 2010. Trabajo de grado. Pág, 18.

biodiscos, debido a su posible implementación en el municipio y cuentan con una eficiencia de remoción alta, para los que se tienen en cuenta una serie de parámetros con distintos porcentajes dependiendo la importancia que cada aspecto puede brindar al municipio.

Para evaluar se toman 5 parámetros básicos: Aplicabilidad del proceso, costos, diseño y construcción, operación y entorno.

Se usa una escala de 1 a 5, así:

1. No aplica
2. Insuficiente
3. Regular
4. Bueno
5. Excelente

Estos valores se multiplican con el porcentaje correspondiente a cada aspecto, el mayor valor final será la alternativa que se escoge.

**3.2.1 Aplicabilidad del proceso.** Este criterio involucra las características del agua residual y la aplicabilidad del proceso.

**3.2.1.1 Flujo aplicable.** Los procesos se diseñan en ciertos intervalos de caudal, lo cuales tiene en cuenta tanto temporada seca como húmeda del municipio, por lo que este aspecto varía y se acomoda al diseño inicial que se hace del tratamiento.

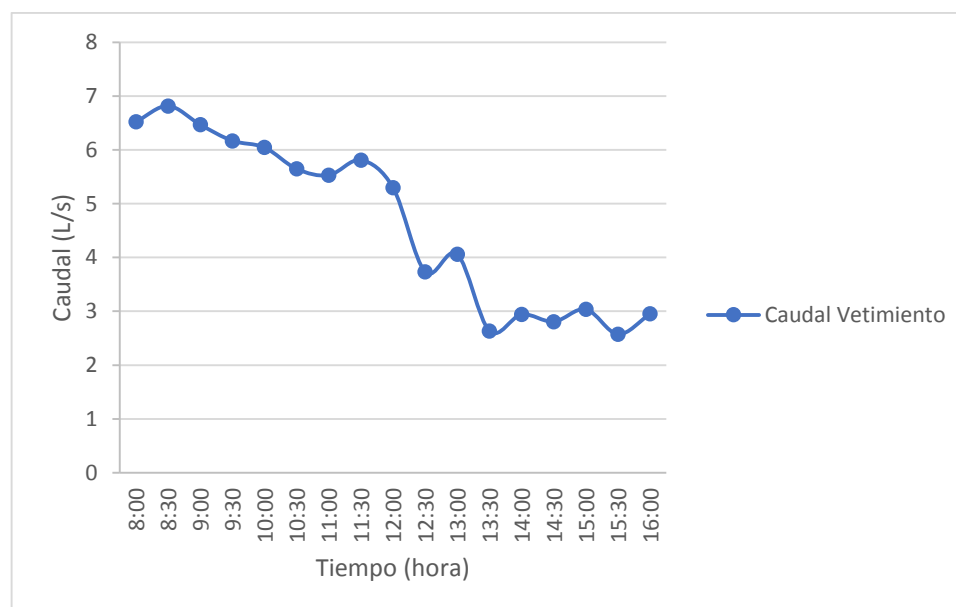
**3.2.1.2 Variaciones de flujo.** *Los procesos trabajan de forma eficiente con un flujo de agua constante, sin embargo se deben tener en cuenta las variaciones que pueden ser toleradas por el sistema<sup>46</sup>.*

En el Municipio de Bituima se presentan caudales regulares en periodos normales entre las 6 de la mañana y 12 del día, luego de esta hora hay una reducción del caudal como se muestra en la **Figura 5**. Donde se presenta cambios notables en el caudal es en los meses de temporada seca, debido a que hay una disminución en el gasto del agua por parte de los habitantes.

---

<sup>46</sup> NOYOLA, Adalberto, MORGAN Juan. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Instituto de Ingeniería UNAM, p.64.

Grafica 5. Perfil de caudal



**3.2.1.3 Características del agua.** *Es muy importante hacer un diagnóstico del agua a tratar, pues de acuerdo a esto se elegirá el tratamiento apropiado. En la **Tabla 13** se muestran los parámetros que remueve cada sistema evaluado.*

Tabla 13. Remoción de sistemas biológicos

Sistemas biológicos	Remoción
LODOS ACTIVADOS	DBO, Solidos suspendidos totales, nitrógeno total 15-30%, fosforo y coliformes fecales. <sup>47</sup>
LAGUNA FACULTATIVA	DBO, Solidos suspendidos, nitrógeno, fosforo y coliformes fecales. <sup>48</sup>
BIODISCOS	DBO, Compuestos orgánicos carbonáceos, nitrógeno amoniacal, metales pesados (Cd, Cu y Zn) <sup>49</sup>

<sup>47</sup> Tecnología de lodos activados, Fundación Chile. [En línea]. Disponible en: <[http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_30.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf)> , [Consultado el 17 de marzo de 2017]

<sup>48</sup> Sistemas de depuración natural: Lagunas facultativas. [En línea]. Disponible en: <<http://depuranatura.blogspot.com.co/2011/05/laguna-facultativa-esquema-del-ciclo.html>> [Consultado el 17 de marzo de 2017]

<sup>49</sup> PÉREZ ARISTIZÁBAL, Juan. Aplicación y evaluación de un reactor de contactores biológicos rotativos (RBC o biodiscos) a escala laboratorio como tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la pradera. 2010. Trabajo de grado. Pág, 25.

Los lodos activados y la laguna facultativa remueven parámetros que el Municipio debe reducir para cumplir la normativa, en cuanto a los biodiscos para el agua residual del Municipio no se requieren reducir metales pesados por lo que en este caso y según las características del agua son eficientes los dos primeros.

**3.2.1.4 Eficiencia de remoción.** *Mide la calidad del efluente de salida respecto al de entrada. Los tratamientos biológicos que se están evaluando son especialmente para la remoción del DBO.*

Para los biodiscos se cuenta con una remoción aproximada del 90 % de DBO<sup>50</sup>, para las lagunas facultativas aproximadamente un 80 %<sup>51</sup> y finalmente para lodos activados se alcanzan porcentajes de remoción del 95 %<sup>52</sup>. En este caso la mejor alternativa para cumplir el objetivo de la cuenca es la aplicación de lodos activados.

**3.2.1.5 Generación de residuos.** Hay que tener en cuenta los residuos que se van a generar como disposición final en los tratamientos, pues estos también deben tener su respectivo procesamiento.

Un problema en las lagunas facultativas es la sobreproducción de algas<sup>53</sup>, lo que provoca que el tanque se llene de lodo, para poder drenarlo o removerlo se debe desocupar la laguna por largos periodos de tiempo lo que origina un paro del sistema.

Los lodos activados generan también grandes cantidades de lodos, los cuales son separados utilizando tanques de sedimentación. Una parte de estos lodos se reutiliza en el sistema y la otra parte pasa por un tratamiento para así hacer una buena disposición de estos.<sup>54</sup>

Para los biodiscos se genera una capa superficial de biosólidos que están formados por materia celular de microorganismo provenientes del proceso, por lo que se trata de una materia orgánica degradable no estabilizada, por lo que si no recibe un debido proceso puede causar un impacto negativo al medio ambiente.<sup>55</sup>

Por lo anterior se concluye que los biodiscos son el sistema con menor generación de residuos, seguido de la laguna facultativa y por último los lodos. La laguna facultativa presenta el inconveniente de generar un paro del sistema al realizar su limpieza. Sin embargo, los biodiscos requieren una remoción y mantenimiento frecuente.

---

<sup>50</sup> DELOYA MARTÍNEZ, Alma. BIODISCOS: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno. Vol 13; no 3, p. 59.

<sup>51</sup> RODRÍGUEZ GAMARRA, J. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. Capítulo 4. Pág 47.

<sup>52</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, 2000, p. 451.

<sup>53</sup> Lagunas Facultativas. Plantas de tratamiento de aguas residuales [En línea]. Disponible en: <<http://lagunasfacultativas.blogspot.com.co/>> [Consultado el 12 de marzo de 2017]

<sup>54</sup> OROPEZA GARCÍA, Norma. Lodos residuales: Estabilización y manejo. México. 2006. Pág, 62-64

<sup>55</sup> WELTER, Adriana. La biopelícula en los procesos RBC. Córdoba. Argentina. Pág, 13.

**3.2.2 Costos.** Este criterio relaciona los costos de inversión y de operación y mantenimiento. Se califica de acuerdo a la necesidad y presupuesto destinado para la PTAR por parte del municipio.

**3.2.2.1 Inversión.** En los costos de inversión se tiene en cuenta los costos directos como lo son los materiales y la mano de obra para la construcción del sistema, y los costos indirectos que abarcan supervisión, ingeniería entre otros.

Al considerar la complejidad y diferencia de cada planta, y los diferentes aspectos como el momento de la inversión (inflación), las características del agua, la cantidad de habitantes, la región a implementar la planta, no es posible determinar una formula general para evaluar los costos y es difícil basarse en otro proyecto por lo mencionado anteriormente. Por lo que se toman costos específicos que permiten realizar estudios de factibilidad de una revista realizada en Bolivia cuyos sistemas y tecnologías han sido también aplicadas en Colombia y se muestran en la **Tabla 14**.<sup>56</sup>

Tabla 14. Costos de inversión (dólares/hab)

Sistema	Costo aproximado (Dólares/hab.)
Laguna Facultativa	8.15
Lodos activados	75
Biodiscos	50

Fuente. WAGNER, Wolfgang. Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de aguas residual aptas para Bolivia

La laguna facultativa presenta menores costos de inversión por habitante, mientras que en los lodos activados y biodiscos se incrementa el costo.

**3.2.2.2 Costos de operación y mantenimiento.** Muy importante a tener en cuenta pues en la actualidad vemos la dificultad económica de mantener operaciones en funcionamiento constante después de ser implantadas.

La laguna facultativa, no requiere energía externa además de la originada por la luz del sol y no se presentan averías mecánicas al carecer de equipos,<sup>57</sup> pero presenta costos cuando hay sobreproducción de algas en la laguna, para lo cual se requiere un drenaje del agua para su respectiva limpieza, lo que genera costos de equipos y energía. Además sin el respectivo mantenimiento y control de producción de lodos

<sup>56</sup> WAGNER, Wolfgang. Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de aguas residual aptas para Bolivia. La Paz, Bolivia. 2010

<sup>57</sup> MATSUMOTO, Tsunao y SÁNCHEZ, Iván. Eficiencias del tratamiento de aguas residuales por lagunas facultativas e implicaciones en la salud pública. Artículo. Septiembre 2010.



y algas, se presentan infiltraciones que pueden afectar acuíferos cercanos y disminuye la eficiencia de remoción de DBO.<sup>58</sup>

Los biodiscos tienen bajo consumo de energía al no requerir aireación y el lodo que se produce tiene buenas propiedades de sedimentación por lo que no se requiere el reciclado del lodo biológico. Aunque si se pueden presentar averías en el equipo<sup>59</sup> y se debe realizar un mantenimiento continuo preventivo observando semanalmente la cantidad de lodo formado sobre el disco, así mismo aplicar grasa en el eje para que este no se recaliente y limpiar la rejilla de protección del motor para evitar el ingreso de partículas.<sup>60</sup>

Para lodos activados se generan costos de energía para el sistema, pues requiere aireación continua, además para mantenimiento y posible daño en equipos.<sup>61</sup>

Aunque la laguna facultativa no requiere equipos en su funcionamiento, se requiere una revisión preventiva constante que genera costos. Por su parte los biodiscos generan costo en la energía para su funcionamiento y también requieren supervisión constante, finalmente para los lodos activados hay costos de energía para la aireación y para el control de lodos.

**3.2.3 Diseño y construcción.** En este aspecto se evaluará el requerimiento de área, los criterios de diseño, la tecnología y complejidad del sistema.

**3.2.3.1 Requerimiento de área.** Este es un requisito muy importante, por lo que se le da un porcentaje significativo, pues se debe contar con la capacidad del terreno que el Municipio pueda destinar para la ubicación de la PTAR.

La laguna facultativa requiere grandes áreas de terreno<sup>62</sup>, y la topografía irregular no conviene mucho para este sistema. En el caso de los lodos activados las dimensiones de las unidades del sistema se adaptan al área del terreno disponible<sup>63</sup> y en cuanto a los biodiscos requieren un área menor que es su ventaja sobre los demás sistemas biológicos.<sup>64</sup>

---

<sup>58</sup> Comisión Nacional del Agua. Manual del agua potable, alcantarillado y saneamiento. México. Diciembre de 2007.

<sup>59</sup> MARTÍNEZ D. Sergio y RODRÍGUEZ R. Miriam. Tratamiento de aguas residuales con Matlab. Editorial Reverté. 2005. Pág, 190.

<sup>60</sup> Mantenimiento de biodiscos CBR (contactores biológicos rotativos). Revista – blog Aguas residuales.info. Septiembre 2016

<sup>61</sup> FUNDACION CHILE. Tecnología de lodos activados. Artículo. Pág, 3.

<sup>62</sup> Lagunas Facultativas. Plantas de tratamiento de aguas residuales [En línea]. Disponible en: <<http://lagunasfacultativas.blogspot.com.co/>> [Consultado el 12 de marzo de 2017]

<sup>63</sup> HERNÁNDEZ, Mario y PAZ, Luiselena. Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias. Pág. 9.

<sup>64</sup> DELOYA MARTÍNEZ, Alma. BIODISCOS: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno. Vol 13; no 3, p. 59.

**3.2.3.2 Criterios de diseño y complejidad del proceso.** Se refiere a los modelos teóricos y empíricos disponibles para cada sistema y la madurez que tengan los sistemas para ser instalados.<sup>65</sup>

Tabla 15. Criterios de diseño de los sistemas evaluados

Sistema	Parámetros en los sistemas evaluados [Unidad]
Laguna facultativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Régimen de operación: Serie o Paralelo</li> <li>- Tiempo de retención hidráulico [días]</li> <li>- Carga hidráulica [lb/acre-día]</li> <li>- Concentración de algas [mg/l]</li> <li>- Carga orgánica por unidad de superficie [lb/acre-día]</li> </ul>
Lodos activados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carga orgánica volumétrica [Kg DBO/díam<sup>3</sup>]</li> <li>- Tiempo de aireación (basado en gasto medio a través del proceso)</li> <li>- Sólidos suspendidos totales en el reactor (SST)</li> <li>- Relación alimento – microorganismo</li> <li>- Requerimientos de aire [m<sup>3</sup>/Kg DBO removida]</li> <li>- Edad del lodo [días]</li> </ul>
Biodiscos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carga orgánica [g DBO5/d/m<sup>3</sup> de medio]</li> <li>- Carga hidráulica [l/d/m<sup>2</sup> de área superficial]</li> <li>- Tiempo de retención [min]</li> <li>- Volumen del Tanque [l/m<sup>2</sup> de área de disco]</li> <li>- Número de trenes en paralelo</li> <li>- Numero de pasos por tren</li> <li>- Área de disco</li> <li>- Revoluciones o velocidad de disco.</li> </ul>

Fuente. Comisión Nacional del Agua. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México 2007

Además de lo que se especifica en la **Tabla 15** es importante tener en cuenta que: para la laguna facultativa la concentración de algas, se ve afectada por la profundidad de la laguna, su forma y la duración del tratamiento (7 a 26 días). La entrada del efluente para la laguna facultativa se debe diseñar por encima del nivel del agua con el fin de que esta adquiera oxígeno y de crear agitación constante, pero la caída del agua debe tener protección para evitar erosión, adicional a esto se debe diseñar una laguna de reserva para no interrumpir el tratamiento cuando sea necesaria la remoción de lodo.<sup>66</sup>

Para biodiscos el área sumergida para el disco debe ser del 40%, con un número de etapas mínimo de 4, al igual se debe considerar la velocidad del disco

<sup>65</sup> NOYOLA, Adalberto, MORGAN Juan. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Instituto de Ingeniería UNAM, p.68

<sup>66</sup> HERNANDEZ, Carlos, MAIDA, Carmen y ALPIRE, Andrea. Estudio de los parámetros de diseño de las lagunas de estabilización para las condiciones de Santa Cruz de la Sierra. Universidad Autónoma “Gabriel Rene Morena”. Marzo de 2010. Pág, 10-12.

dependiendo de su área, y el crecimiento de la biopelícula en el disco para una correcta remoción de la DBO.<sup>67</sup>

Al comparar tratamientos diferentes, los criterios de diseño cambian para cada sistema, por lo que se evalúa la complejidad para cumplir cada uno de estos.

**3.2.4 Operación.** En este aspecto se relacionan conceptos como el requerimiento de personal y disponibilidad de repuestos.

**3.2.4.1 Requerimiento de personal.** *Se relaciona directamente con el tamaño y complejidad de la planta, por lo que los procesos sencillos son mejores, es decir donde no se necesite personal altamente calificado o que su número sea reducido.* En la laguna facultativa se requiere de un supervisor sin alta calificación cada cierto tiempo para observar las condiciones y la producción de lodo y algas y también se requiere de operarios para su limpieza.<sup>68</sup> En cuanto a los lodos activados se requiere un operador, el cual se debe capacitar, para una tener las habilidades necesarias para operar correctamente la planta. En biodiscos se requiere necesariamente un jefe de planta especializado y un operario que realice el mantenimiento.<sup>69</sup>

**3.2.4.2 Disponibilidad de repuestos.** En los biodiscos se requieren distintas piezas, como lo son los discos que generalmente son de plástico de alta densidad de 1 a 1.5 mm de espesor. Estos discos son soportados con una flecha horizontal rotatoria. El área superficial varía de proveedor a proveedor por lo que una vez implantado el sistema, en caso de una falla el repuesto se debe conseguir con el mismo proveedor.<sup>70</sup>

Para lodos activados se pueden presentar fallas ocasionales en el sistema de aireación (compresor y difusor) el cual es ofrecido por variedad de proveedores en el mercado, por lo que facilita la adquisición de repuestos.<sup>71</sup>

En cuanto a la laguna facultativa no se requieren equipos mecánicos en su operación, sino un estanque impermeable de tierra y los equipos necesarios para el mantenimiento a este.<sup>72</sup>

---

<sup>67</sup> SANCHEZ, José. Modelos matemáticos para biodiscos. Universidad Católica de Córdoba. Pág, 2-3

<sup>68</sup> Operación en lagunas Facultativas. [En línea]. Disponible en:  
<<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal42/operacion.pdf> >[Consultado el 15 de marzo de 2017]

<sup>69</sup> IGLESIAS GONZÁLES, José Antonio. Cálculos y diseño de una EDAR de biodiscos. Universidades de Madrid, Leganes, julio de 2013.

<sup>70</sup> Comisión Nacional del Agua. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México. 2007. Pág.47.

<sup>71</sup> ALVIZ, Anibal y CUETO, David. Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en zoofrancia mamonal. Universidad de Cartagena. 2012.

<sup>72</sup> Tratamiento del agua. Laguna Facultativa. [En línea]. Disponible en:  
<<http://www.tratamientodelagua.com.mx/laguna-facultativa/> >[Consultado el 14 de junio de 2017]

Por esta razón se necesitan proveedores más específicos para los biodiscos, seguidos de lodos activados que también requieren piezas mecánicas y el mejor sistema para este aspecto es la laguna facultativa pues no requiere repuesto mecánicos.

**3.2.4.3 Requerimiento energético.** En la **tabla 16** se hace una comparación del consumo energético de cada uno de los sistemas evaluados.

*Tabla 16. Consumo energético de los sistemas evaluados*

Sistema	Consumo energético
<b>Lodos activados<sup>73</sup></b>	Entre un 50-55 % de la energía consumida en el sistema proviene de la aireación. Se requiere 1 KWh/Kg de DBO <sub>5</sub> removida.
<b>Laguna facultativa<sup>74</sup></b>	Este proceso no consume energía de fuentes externas en el momento de su operación, pero al momento de realizar el mantenimiento si hay consumo energético.
<b>Biodiscos<sup>75</sup></b>	Un sistema de biodiscos consume del orden del 20 % del consumo total de un sistema de lodos activados. Su consumo aproximado es de 0,25 KWh/Kg de DBO <sub>5</sub> removida.

La laguna facultativa presenta costos de energía en su mantenimiento, en cuanto a biodiscos y lodos activados si presentan consumo energético durante su operación, consumiendo los biodiscos el 20 % del total del sistema de lodos activados, reflejando los lodos activados su consumo energético en una mayor eficiencia de la DBO.

**3.2.5 Entorno.** Este criterio abarca factores como la influencia de la temperatura, producción de ruido, producción de animales, contaminación visual y producción de malos olores.

<sup>73</sup> Seminario Nacional para el ahorro de energía y agua. Eficiencia operativa y energética mediante el reciclaje de los sólidos suspendidos en PTARs. México. 2014.

<sup>74</sup> Comisión Nacional del Agua. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México. 2007

<sup>75</sup> Aquagest Soluciones Industriales. Utilización de la tecnología basada en contactores biológicos rotativos para el diseño y construcción de EDARs.

**3.2.5.1 Influencia de la temperatura.** Las variaciones importantes de temperatura pueden afectar el proceso, una caída de 10 °C en la temperatura reducirá la actividad microbiológica aproximadamente en un 50 % por esta razón se tiene en cuentas las condiciones climáticas, en este caso el Municipio cuenta con un clima templado (21 a 24 °C), por lo que las 3 tecnologías van bien para el proceso.<sup>76</sup>

**3.2.5.2 Producción de plagas y malos olores.** Se debe considerar el potencial de la tecnología para la reproducción de animales molestos como ratas, moscas, etc. También se tiene en cuenta la dirección de los vientos puede restringir ciertos procesos que causan olores no deseados, y se considera debido a que la población es cercana a la planta.

Toda planta de tratamiento mal diseñada o mal operada es propensa a generar malos olores. Sin embargo, debido al metabolismo de bacterias anaerobias, las plantas que operan de esta manera presentan más inconveniente con la producción de mal olor, debido a que la laguna facultativa presenta zonas anaerobias las cuales pueden desprender olores que obligan a tener la planta lejos de lugares habitados, estos pueden favorecer la proliferación de moscas alrededor de las lagunas, por lo la capa de espuma que se forma se debe romper rociando agua de manera constante agua, además se deben implementar trampas atrapa moscas alrededor de la laguna<sup>77</sup>.

Los lodos activados y los biodiscos presentan un menor inconveniente con la producción de olores y no favorecen la producción de esta clase de animales, si hay una correcta limpieza y disposición de los residuos de la planta.<sup>78</sup>

Algunas operaciones prácticas como la limpieza de los tanques de operación y la reducción de la espuma formada en los tanques de aireación ayudan a disminuir los malos olores<sup>79</sup>.

**3.2.5.3 Contaminación visual.** Se evalúa el diseño arquitectónico de la planta y así mismo la cantidad de área que abarca.

Las 3 tecnologías están a disposición de un diseño arquitectónico agradable, pero la laguna facultativa al requerir tanta área está en desventaja en este parámetro.

Por esto los biodiscos y lodos son las opciones más viables.

---

<sup>76</sup> RODRIGUEZ, Juan. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. Capítulo 4. Pág, 54.

<sup>77</sup> MARTINEZ, Juan Carlos. Evaluación ambiental de los sistemas de lagunas para el tratamiento de aguas residual. Trabajo de grado. Sincelejo, Colombia 2007. Pag. 45

<sup>78</sup> RONZANO, E y DAPENA, J. Problemas de la explotación de los fangos activados. Pág 15-18

<sup>79</sup> Lagunas Facultativas. Plantas de tratamiento de aguas residuales [En línea]. Disponible en: <<http://lagunasfacultativas.blogspot.com.co/>> [Consultado el 15 de marzo de 2017]

**3.2.7 Tabla evaluación de la matriz.** Los porcentajes más altos se dieron para los parámetros de eficiencia de remoción, pues es indispensable cumplir con el objetivo de la cuenca para 2020, el siguiente es el costo de inversión, pues la alcaldía de Bituima destina un costo específico para la implantación de la PTAR y el requerimiento de área, pues se debe trabajar en base a esta.

Tabla 17. Matriz de selección de alternativa de tratamiento

MATRIZ DE SELECCIÓN DE TRATAMIENTO								
ASPECTO EVALUADO	PROCESOS APLICABLES		Laguna Facultativa		Lodos Activados		Biodiscos	
		Ponderación	Evaluado	Ponderación	Evaluado	Ponderación	Evaluado	Ponderación
1. APLICABILIDAD DEL PROCESO	Flujo aplicable	3%	5	0.15	5	0.15	5	0.15
	Variación de flujo	4%	3	0.12	4	0.16	3	0.12
	Características del agua	8%	5	0.4	5	0.4	4	0.32
	Eficiencia de remoción	14%	3	0.42	5	0.7	3	0.42
	Generación de residuos	5%	4	0.2	3	0.15	4	0.2
2. COSTOS	Inversión	10%	5	0.5	4	0.4	4	0.4
	Operación y mantenimiento	10%	4	0.4	4	0.4	4	0.4
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	Requerimiento de área	12%	2	0.24	4	0.48	4	0.48
	Complejidad del proceso	6%	4	0.24	4	0.24	3	0.18
4. OPERACIÓN	Requerimiento de personal	4%	5	0.2	5	0.2	3	0.12
	Disponibilidad de repuestos	4%	5	0.2	4	0.16	3	0.12
	Requerimiento Energético	6%	4	0.24	3	0.18	4	0.24
5. ENTORNO	Influencia de la temperatura	3%	5	0.15	5	0.15	5	0.15
	Producción de plagas y malos olores	8%	3	0.24	4	0.32	4	0.32
	Contaminación visual	3%	3	0.09	4	0.12	4	0.12
TOTAL		100%		3.79		4.21		3.74

Una vez evaluada la matriz como se muestra en la **Tabla 17** se obtiene que el proceso biológico de lodos activados (con una puntuación de 4,21), es apropiado para el Municipio, debido a que los aspectos evaluados de mayor importancia como lo son: la eficiencia de remoción, el requerimiento de área y la producción de plagas y malos olores se ajustan a los parámetros de la norma y a lo solicitado por el Municipio. Además, un sistema biológico de lodos activados reduce parámetros como: grasas y aceites, Fosforo, Coliformes, Nitrógeno total y Sólidos suspendidos.

## 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 4.1 DISEÑO LODOS ACTIVADOS EXPERIMENTACIÓN

Se realiza los respectivos cálculos, para implementar un diseño a escala, donde se pueda comprobar los resultados requeridos mediante el método de lodos activados.

**4.1.1 Determinación del caudal.** Para determinar el caudal tomamos un volumen de trabajo de 20 litros por comodidad del experimento, pues se tomó un botellón de agua cuya capacidad es esta y el recipiente hecho se hizo igualmente a esta capacidad y un tiempo de retención de 8 horas al ser un sistema convencional. En la **Ecuación 10** se muestra como se debe determinar el caudal teniendo en cuenta los datos anteriores.

Ecuación 10. Caudal de aguas residuales en el desarrollo experimental

$$Q = \frac{V}{\theta}$$

Fuente. GIRALDO, Luis y RESTREPO, Isabel. Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. 2003. Pág.68.

Donde:

$\theta$  = tiempo de retención hidráulica o tiempo de aireación

V = Volumen del tanque de aireación

Q = Caudal de aguas residuales

Tabla 18. Determinación caudal de agua residual experimental

Tiempo de retención hidráulica ( $\theta$ )	<b>8 horas</b>
Volumen del tanque de aireación (V)	20 L
Caudal de aguas residuales (Q)	0,69 ml/s

Una vez establecido el tiempo de retención de 8 horas, pues es un sistema convencional<sup>80</sup>, se calcula el caudal de aguas residuales para el diseño de lodos activados a escala como se muestra en la **Tabla 14**.

**4.1.2 Carga orgánica.** En la **Ecuación 11** se muestra como determinar la carga orgánica, teniendo en cuenta la Concentración de demanda biológica de oxígeno y Caudal de las aguas residuales.

<sup>80</sup> Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. RAS 2000

Ecuación 11. Carga orgánica del proceso experimental

$$CO = DBO * Q$$

Donde:

CO = Carga orgánica del proceso  $\text{mgO}_2/\text{s}$

DBO = Concentración de demanda biológica de oxígeno  $\text{mgO}_2/\text{L}$

Q = Caudal de las aguas residuales  $\text{L/s}$

Tabla 19. Determinación de carga orgánica del proceso experimental

<b>Concentración de demanda biológica de oxígeno (DBO)</b>	<b>740 <math>\text{mgO}_2/\text{L}</math></b>
<b>Caudal de las aguas residuales (Q)</b>	<b>6,94x10<sup>-4</sup> <math>\text{L/s}</math></b>
<b>Carga orgánica del proceso (CO)</b>	<b>0,51 <math>\text{mgO}_2/\text{s}</math></b>

Este cálculo se realiza tomando como referencia el valor de DBO de 740  $\frac{\text{mg o}_2}{\text{L}}$ , , pues como ya se había indicado es la medición más crítica y el resultado de la carga orgánica de muestra en la **Tabla 19**.

**4.1.3 Carga orgánica volumétrica.** Para determinar la carga orgánica volumétrica se utiliza la **Ecuación 12**.

Ecuación 12. Carga orgánica volumétrica del proceso experimental

$$COV = \frac{Q * DBO}{V}$$

Donde:

COV= Carga orgánica volumétrica  $\text{mgO}_2/\text{m}^3\text{s}$

Q= Caudal de las aguas residuales  $\text{L/s}$

DBO= Concentración de demanda biológica de oxígeno  $\text{mgO}_2/\text{L}$

V= Volumen del tanque de aireación  $\text{m}^3$

Tabla 20. Determinación de la carga orgánica volumétrica del experimental

<b>Caudal de las aguas residuales (Q)</b>	<b>6,94x10<sup>-4</sup> <math>\text{L/s}</math></b>
<b>Concentración de demanda biológica de oxígeno (DBO)</b>	<b>740 <math>\text{mgO}_2/\text{L}</math></b>
<b>Volumen del tanque de aireación (V)</b>	<b>20 <math>\text{L}</math></b>
<b>Carga orgánica volumétrica (COV)</b>	<b>0,025 <math>\text{mgO}_2/\text{m}^3\text{s}</math></b>



En la **Tabla 20** se muestra el valor de la carga orgánica volumétrica para el proceso a escala.

**4.1.4 Relación alimento microorganismo.** Esta relación se calcula con la Ecuación 13.

Ecuación 13. Relación alimento microorganismo

$$\frac{A}{M} = \frac{Q * DBO}{V * X_{ss}}$$

Donde:

A/M = Relación alimento/microorganismos mgO<sub>2</sub>/s\*mgss

Q = Caudal de agua residual L/s

DBO = Demanda biológica de oxígeno del sistema mgO<sub>2</sub> /L

V = Volumen del líquido en el tanque de aireación L

X<sub>ss</sub> = Concentración de solidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación mgss/L

Tabla 21. Relación alimento Microorganismo

Caudal de agua residual (Q)	<b>6,94x10<sup>-4</sup> L/s</b>
Concentración de demanda biológica de oxígeno (DBO)	740 mgO <sub>2</sub> /L
Volumen del tanque de aireación (V)	20 L
Concentración de solidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (X <sub>ss</sub> )	1867 mgss/L
Relación alimento/microorganismos (A/M)	1,37X10 <sup>-5</sup> mgO <sub>2</sub> /s*mgss

En la **Tabla 21** se determinó la relación A/M la cual representa la masa de sustrato aplicada diariamente, contra la masa de sólidos suspendidos.<sup>81</sup>

**4.1.5. Determinación del área para la elaboración del reactor.** Ecuación 14. Determinación del área para la elaboración del reactor en el proceso experimental.

Ecuación 14. Determinación del área para la elaboración del reactor

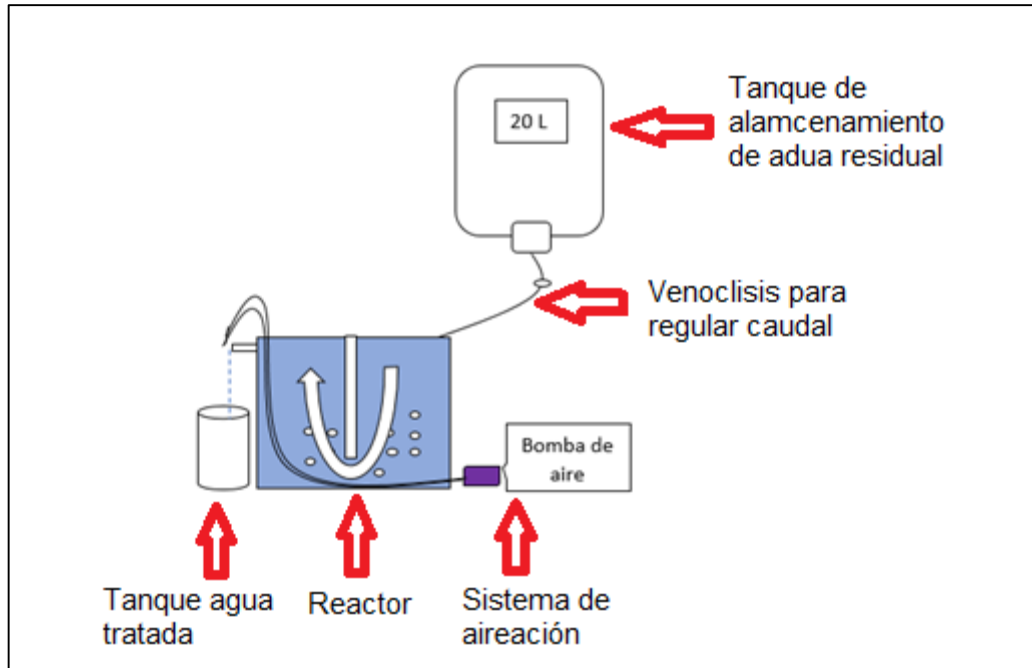
$$V = a^3$$

<sup>81</sup> MOELLER, Gabriela y TOMASINI, Ana. Microbiología de lodos activados. Pág, 164.

$$a = 27 \text{ cm}$$

Usando la **Ecuación 14** se determinan las medidas del reactor para realizar la experimentación, el material en el que se va a diseñar es acrílico, pues este material permite realizar las perforaciones a la manguera de aireación y de entrada y salida del agua, además este material permite tener una buena visión del lodo que se forma.

Figura 8. Esquema del diseño experimental



Como se observa en la **Figura 8** para el esquema se emplea un botellón de 20 litros de capacidad, donde inicialmente se agrega el agua a tratar, esta pasa por medio de una manguera y llega al recipiente, allí es aireado por una bomba de aire de 2,5 watts de potencia, esta aireación se realizó de forma continua no solo para inyectar el oxígeno al sistema sino también para mantener una mezcla completa en el tanque y así haya contacto permanente entre la materia orgánica y el agua y una manguera con orificios para que el proceso se desarrolle. El caudal de llenado fue 0,69 L/s aproximadamente, este valor en gotas equivale a alrededor de 6 gotas por segundo, el tanque se demoró alrededor de ocho horas en el primer llenado, de ahí en adelante el botellón se siguió llenando cada 6 – 7 horas para que el proceso se realizara de forma continua. El montaje experimental se observa en la **Figura 9**.

Figura 9. Proceso experimental



Se realiza una prueba de DBO al agua que se usó para llenar el botellón inicialmente, pues las condiciones del agua residual varían diariamente dependiendo las actividades realizadas y las precipitaciones que se presentan en la cabecera municipal, se toma en cuenta solo el parámetro DBO debido a que este es el parámetro de control que se va a utilizar para el agua residual del Municipio, esta muestra arroja un resultado de  $293 \text{ mgO}_2/\text{L}$  y se observará su comportamiento final en el sistema propuesto. El agua se dejó circular por el reactor hasta obtener recubrimiento de lodo en el fondo de este, dicho lodo tardó en aparecer 10 días aproximadamente, esta capa de lodo era notoria en la base del acrílico como se muestra en la **Figuras 10**, luego de esto se forma una capa un poco más compacta de lodo como se observa en la **Figura 11**.

La muestra de agua tomada del proceso de lodos activados para ser analizada por primera vez se tomó a los 20 días de aparecer el lodo y dicha muestra arroja un DBO de  $25,3 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , lo que indica que hubo una reducción del 91,36%.

Se tomó una segunda muestra de agua en el día 25 después de formado el lodo, el análisis de esta muestra indica un DBO de  $23,1 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , teniendo una reducción en la DBO de 92,12%. Los resultados señalados anteriormente se pueden observar en el **Anexo B**.

La eficiencia de remoción de DBO para un sistema de lodos activados convencional esta entre el 85-95%.Lo cual se comprueba con los resultados obtenidos de la experimentacion, puesto que se obtuvieron resultados de remoción por encima del 90%.<sup>82</sup>

<sup>82</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, 2000, p. 451.

Analizando los resultados frente a las normativas se puede concluir que con un sistema de lodos activados se cumple la resolución 631 de 2015, en cuanto la concentración de DBO, la cual establece que el valor máximo del parámetro debe ser 90 mgO<sub>2</sub>/L.

En cuanto al objetivo de la cuenca, el cual establece un valor para DBO inferior a 7 mgO<sub>2</sub>/L, para el sistema real es posible llegar a este valor pues en la experimentación aún falta la formación de una capa de lodo más compacta y el lodo aún es muy joven.

Sin embargo, se obtuvo una eficiencia alta de remoción, por lo que se concluye que el sistema de lodos activados es apto para tratar el agua del municipio de Bituima.

Adicional a esto se prevee una remoción de otros parámetros con un sistema biológico. Según la literatura la eficiencia de remoción de algunos parámetros en el proceso de lodos activados es: Para sólidos suspendidos totales 85-95%, nitrógeno amoniacal 15-30%, fósforo 10-25% y coliformes fecales 60-90%.<sup>83</sup>

Se realiza el análisis de los parámetros reducidos por un sistema de lodos activados para el mes crítico (septiembre de 2015), como se muestra en la **tabla 22**.

Tabla 22. Reducción posible de parámetros

Parámetro	% de reducción	Valor crítico	Valor final	Norma 631	Objetivo cuenca
DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	92.12	740	65.71	Si	No
SST (mg-SST/L)	95	1867	93.35	No	Si
NITROGENO AMONIA CAL (mgN-NH <sub>3</sub> /L)	30	10.1	7.07	Si	No
FOSFORO (mgP/L)	25	36.88	27.66	Si	No
COLIFORMES FECALES (NMP/100mL)	90	1E+5	1E+4	Si	No

Fuente. Tecnología de lodos activados, Fundación Chile <sup>84</sup>

<sup>83</sup> Tecnología de lodos activados, Fundación Chile. [En línea]. Disponible en: <[http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_30.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf)> , [Consultado el 17 de marzo de 2017]

<sup>84</sup> Tecnología de lodos activados, Fundación Chile. [En línea]. Disponible en: <[http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_30.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf)> , [Consultado el 17 de marzo de 2017]

Es posible cumplir con los parámetros que aún no alcanzan la norma, pues como se dijo anteriormente es un lodo joven y adicional esto en el pretratamiento y tratamiento primario hay una reducción de estos parámetros.

Contribuyendo de esta manera en la mejora de la calidad del agua residual y permitiendo así que se logre cumplir con las normativas establecidas

Figura 10. Formación del lodo

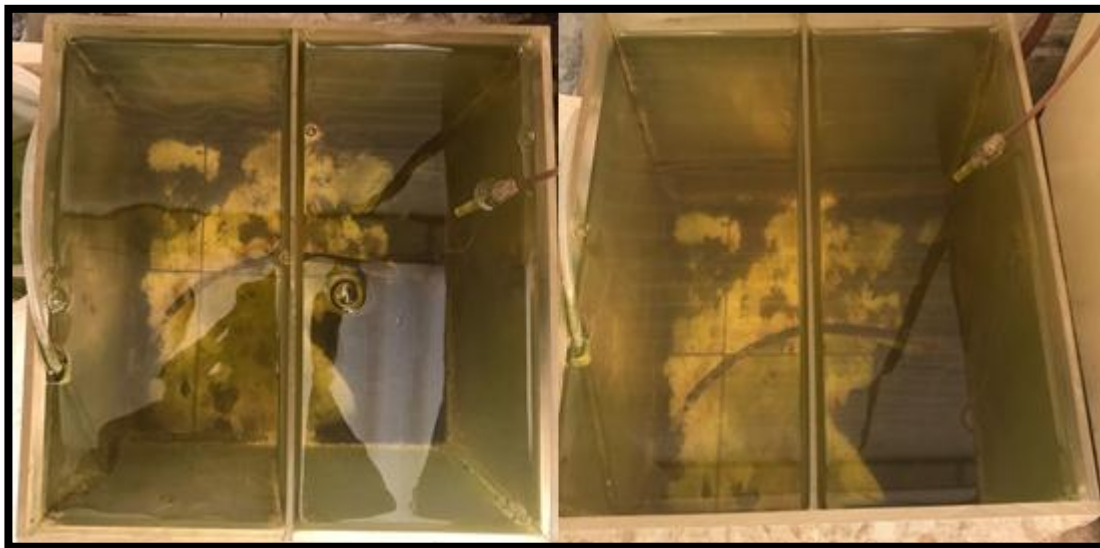


Figura 11. Capa compacta de lodo

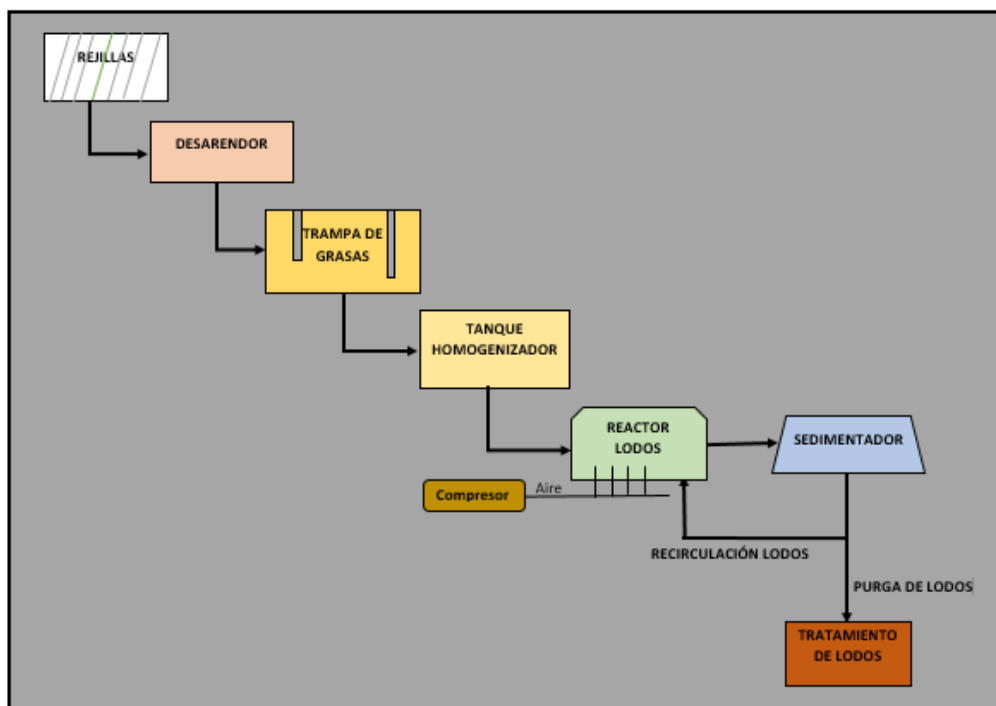


## 5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Para realizar las especificaciones técnicas de los equipos, primero se establece un conjunto de tratamientos, los cuales satisfacen las necesidades del Municipio para el cumplimiento de las normativas en sus aguas residuales, el tratamiento está conformado por diferentes operaciones como lo son:

Rejillas, desarenador, trampa de grasas y aceites, tanque homogenizador, reactor de lodos activados y sedimentador como se observa en la **Figura 12** y con mayor detalle en el **Anexo D**.

Figura 12. Tren de tratamiento

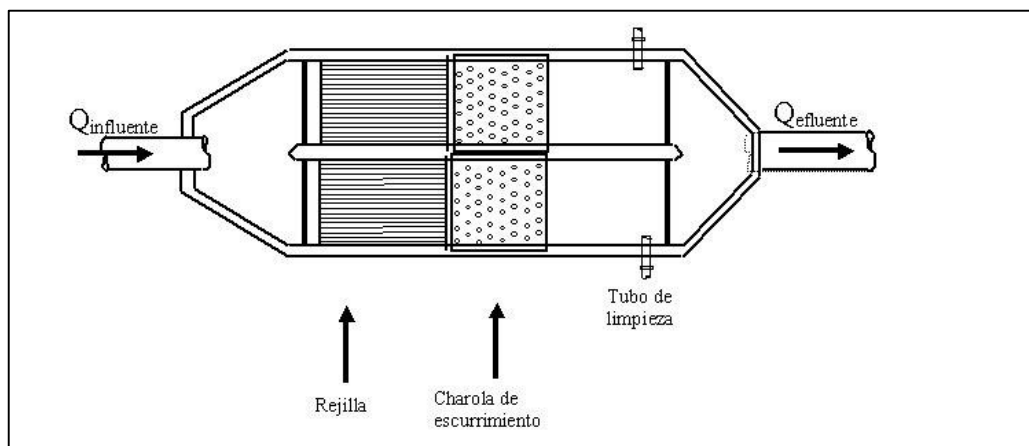


### 5.1 PRETRATAMIENTO

Los pretratamientos en aguas residuales reducen la cantidad de sólidos suspendidos y acondicionan el agua para pasar tanto al tratamiento primario como secundario.

**5.1.1 Rejillas.** Las rejillas se ubican a la entrada del proceso. Los materiales retenidos en las rejillas se retiran, para luego realizar la disposición final<sup>85</sup>. En esta PTAR se recomienda usar rejillas manuales, debido a que es una instalación pequeña. El objetivo de estas en el Municipio es retener principalmente basuras, cascara de fruta, latas, plástico, papel y material grueso sólido. En la **Figura 13** se muestra un esquema de las rejillas.

Figura 13. Esquema de rejillas



Fuente. Tomado de Maswel Andrey Ortiz Parra. Universidad Sergio Arboleda Especialización en gerencia para el manejo de los recursos naturales, del medio ambiente y riesgos y desastres con énfasis en gestión ambiental urbana. WILLER GUEVARA H, Ing. Civil Msc. Abril de 2005

Las rejillas a implementar en la cabecera Municipal tienen las siguientes características:

**5.1.1.1 Características de rejillas de barras.** Revisando la **Tabla 23** se determinan las dimensiones que deben tener las rejillas de limpieza manual que son las recomendadas en el RAS 2000. En cuanto al valor de la pendiente con la vertical, se recomienda que el grado de inclinación sea mayor, para evitar acumulación de residuos, y de esta manera tener una mayor fluidez del caudal y un mayor rendimiento de las rejillas. Por lo que se trabaja con un valor de 60 grados ( $60^\circ$ )<sup>86</sup>.

<sup>85</sup> VALENCIA LOPEZ, Adriana Elizabeth. Diseño de una sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis – provincia de Chimborazo. .Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador 2013, p.32.

<sup>86</sup> VALENCIA LOPEZ, Adriana Elizabeth. Diseño de una sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis – provincia de Chimborazo. .Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador 2013, p.34.

Tabla 23. Características de las rejillas de barras.

CARACTERÍSTICA	DE LIMPIEZA MANUAL	DE LIMPIEZA MECÁNICA
Ancho de las barras	0.5 – 1.5 cm	0.5 – 1.5 cm
Profundidad de las barras	2.5 – 7.5 cm	2.5 – 7.5 cm
Abertura o espaciamiento	2.5 – 5.0 cm	1.5 – 7.5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0.3 – 0.6 m/s	0.6 – 1 m/s
Pérdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Fuente. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Jairo Alberto Romero Rojas

**5.1.1.2 Pérdida de energía en rejillas.** La pérdida de energía en las rejillas es provocada cuando estas presentan taponamiento, por falta de limpieza o de remoción de los residuos que se acumulan.<sup>87</sup> En la **Tabla 24** se muestra la pérdida de la rejilla diseñada para el Municipio. Esta pérdida está en función de la forma de las barras y de la altura de estas. Kischmer propuso la **Ecuación 16** para determinar la pérdida de energía y la **Ecuación 16** para la energía de velocidad del flujo de aproximación.

Ecuación 15. Pérdida de energía en rejillas

$$H = \beta * \left(\frac{\omega}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * hv * \text{sen}\theta$$

Fuente. VILLAREAL, Willam. Diseño para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales en el Estadio de la Universidad Técnica del Norte, Cantón Ibarra Provincia Imbabura. Febrero 2015, p. 76

Ecuación 16. Altura o energía de velocidad del flujo de aproximación en las rejillas

$$hv = \frac{v^2}{2 * g}$$

<sup>87</sup> VALENCIA LOPEZ, Adriana Elizabeth. Diseño de una sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis – provincia de Chimborazo. .Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador 2013, p.34.



$$h_v = 0,004588 \text{ m}$$

Donde:

H = pérdida de energía (m)

$\beta$  = factor de forma de las barras

$\beta = 1,79$  para barras circulares

w = ancho máximo de la sección transversal de las barras, en la dirección de flujo (m)

b = espaciamiento o separación mínima entre las barras (m)

$h_v$  = altura o energía de velocidad del flujo de aproximación (m)

$\theta$  = Angulo de la rejilla con la horizontal

V = velocidad de acercamiento (m/s)

g = gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

**5.1.1.3 Área del canal.** Para determinar el área del canal se usa la Ecuación 17.

Ecuación 17. Área del canal en la rejilla

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = 0,008 \text{ m}^2$$

Donde:

A = Área del canal ( $\text{m}^2$ )

Q = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

V = velocidad de acercamiento (m/s)

**5.1.1.4 Altura de la lámina de agua.** Con la **Ecuación 18** se especifica la altura de la lámina de agua que circulara por el canal.

Ecuación 18. Altura de la lámina de agua

$$Al = \frac{A}{Ac}$$

$$Al = 0,0266 \text{ m}$$

Donde:

Al = Altura de la lámina de agua

Ac = Ancho del canal

**5.1.1.5 Altura del canal.** Para hallar la altura del canal se debe tener en cuenta la altura de la lámina de agua y una altura de seguridad para que no se presenten pérdidas de agua residual. La **Ecuación 19** muestra la manera de determinar dicha altura.

Ecuación 19. Altura del canal

$$hc = Al + Hs$$

$$hc = 0,40 \text{ m}$$

Donde:

hc= Altura del canal

Hs = Altura de seguridad

Al = Altura de la lámina de agua

**5.1.1.6 Longitud de la rejilla.** Con la **Ecuación 20** se determina la longitud de las rejillas para para la primera operación del tratamiento de agua residual.

Ecuación 20. Longitud de la rejilla

$$L = \frac{hc}{\text{sen } \theta}$$

$$L = 0,46 \text{ m}$$

Donde:

L = Longitud de la rejilla (m)

hc = altura del canal (m)

$\theta$  = Angulo de inclinación

**5.1.1.7 Número de barras requeridas.** El número de barras requeridas, se calcula por medio de la **Ecuación 21**.

Ecuación 21. Numero de barras requeridas en la rejilla

$$n * w + (n - 1) * b = Ac$$

$$n = 8,25 \sim 8$$

Donde:

n = Numero de barras requeridas

w = Ancho de la barra (m)

b = espaciamento entre barras (m)

Ac = Ancho del canal (m)

Tabla 24. Dimensionamiento de las rejillas

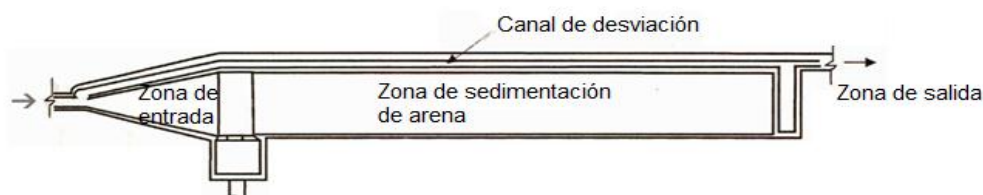
<b>Perdida de energía en rejillas</b>	
Característica	Limpieza Manual
Ancho de las barras (w)	0,010 m
Abertura o espaciamiento (b)	0,03 m
Pendiente con la vertical ( $\theta$ )	60°
Factor de forma de las barras ( $\beta$ )	1,79
velocidad de acercamiento (V)	0,3 m/s
Gravedad (g)	9,8066 m/s <sup>2</sup>
Energía de velocidad del flujo de aproximación ( $h_v$ )	0,004588 m
Perdida de energía (H)	0,001643 m
<b>Dimensiones del canal</b>	
Caudal de diseño (Q)	2,4 L/s
	0,0024 m <sup>3</sup> /s
Velocidad de acercamiento (V)	0,3 m/s
Área del canal (A)	0,008 m <sup>2</sup>
	80 cm <sup>2</sup>
Ancho del canal (Ac)	0,30 m
Alto de la lámina de agua (Al)	0,0266 m
Altura de seguridad (Hs)	0.37 m
Altura del canal (hc)	0,40 m
<b>Longitud de la rejilla</b>	
Altura del canal (hc)	0,40 m
Angulo de inclinación ( $\theta$ )	60°
Longitud de la rejilla (L)	0,46 m
<b>Número de barras requeridas</b>	
Ancho de la barra (w)	0,010 m
Espaciamiento entre barras (b)	0,03 m
Ancho del canal (Ac)	0,30 m
Numero de barras requeridas	8,25 $\approx$ 8

Las dimensiones obtenidas para el canal y para las rejillas se muestran en la **Tabla 24**, El flujo de entrada de agua se llevará a cabo por gravedad, de esta manera se ahorra los costos de inversión de una bomba. La longitud del canal será de 2 m. La cantidad de material que queda en la rejilla es influenciada por condiciones locales, costumbres de la población y época del año. La disposición del material se hará luego de su secado y se llevará posteriormente al relleno sanitario de Mondoñedo.

**5.1.2 Desarenador.** Para caudales menores a 50 L/s se recomienda que se haga limpieza manual, para esto se hace una medición periódica del material acumulado y un estimado de la cantidad a remover de arena.<sup>88</sup> Las disposiciones de los residuos se van a realizar en un relleno sanitario. El periodo de operación es de 24 horas al día.

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000), recomienda en su título E una geometría dependiendo el tipo de desarenador a diseñar. Y estas se muestran en la **Tabla 25**. Para los cálculos posteriores se van a tomar los parámetros de diseño de un desarenador de flujo horizontal. En la **Figura 14** se muestra el esquema de un desarenador.

Figura 14. Esquema desarenador



Fuente. PERDOMO, Fernando y MORENO, Carmiña. Calidad de agua Ministerio de desarrollo económico.

Tabla 25. Parámetros según geometría del desarenador

Parámetro	Desarenador de flujo horizontal	Desarenador aireado	Desarenador tipo vórtice
Profundidad (m)	2 – 5	2 – 5	2,5 – 5
Longitud (m)	-----	8 – 20	-----
Ancho (m)	-----	2,5 – 7	-----
Relación Largo: Ancho	2,5:1 – 5:1	3:1 – 5:1	-----
Relación Ancho: Profundidad	1:1 – 5:1	1:1 – 5:1	-----
Diámetro (m)			
Cámara superior	-----	-----	1 – 7
Cámara inferior			1 – 2
Velocidad mínima del agua (m/s)	0,2m/s – 0,4m/s		
Numero de desarenadores	Mínimo dos (2)		
Tasa de desbordamiento superficial	700 y 1600 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia.		
Tiempo de retención hidráulica	20s – 3 min		

Fuente. Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000 TITULO E)

<sup>88</sup> Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. RAS 2000. Título E, p. 53.

**5.1.2.1 Velocidad de sedimentación.** El criterio de velocidad de sedimentación se tomó de la siguiente tabla:

Tabla 26. Velocidad de sedimentación de partícula

d= (mm)	T °C	Reynolds (Re)	Velocidad de sedimentación (U <sub>s</sub> ) (m/s)
0,20	5	2,53	0,01918
0,20	10	3,29	0,02156
0,20	15	4,17	0,02388
0,20	20	5,19	0,02622

Fuente. ENOHSA Ente nacional de obras hídricas de saneamiento capítulo VII

Basándose en la **Tabla 26** se realiza una extrapolación, con la temperatura promedio del agua residual la cual es 24,34 °C, para determinar la velocidad de sedimentación a esta temperatura. Esta velocidad de sedimentación es de 0,02826 m/s y el número de Reynolds es de 5,89.

Una vez calculada la velocidad de sedimentación, se toma para cálculos posteriores de la longitud del desarenador y el tiempo de retención.

**5.1.2.2 Longitud del desarenador.** La longitud del desarenador se calcula por medio de la **Ecuación 22**.

Ecuación 22. Determinación de la longitud desarenador

$$L = \frac{h * v}{w}$$

Fuente. MACLONI, Diego. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el Municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz. Guatemala. Noviembre 2014. P. 86

$$L = 5,31 \text{ m}$$

Donde:

L= Longitud desarenador (m)

h= Profundidad (m)

v= Velocidad mínima del agua (m/s)

w= Velocidad de sedimentación (m/s)

Para la profundidad el Ras 2000 recomienda una profundidad de 2 a 5 metros, pero debida a que la población es baja se toma una profundidad de 0,5 m.

**5.1.2.3 Tiempo de sedimentación o retención.** Para determinar el tiempo de retención se debe tener presente valores como: profundidad y velocidad de sedimentación como lo muestra las **Ecuación 23**.

Ecuación 23. Tiempo de sedimentación o retención en el desarenador

$$t = \frac{h}{w}$$

$$t = 17,70 \text{ s}$$

Donde:

t= Tiempo de retención (s)

h= Profundidad (m)

w= Velocidad de sedimentación (m/s)

**5.1.2.4 Volumen de agua conducido en ese tiempo.** El volumen de agua conducido se calcula por medio de la **Ecuación 24**.

Ecuación 24. Volumen de agua conducido en el tiempo de retención

$$V = Q * t$$

$$V = 0,0024 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

V= Volumen (m<sup>3</sup>)

Q= Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

t= Tiempo de retención (s)

**5.1.2.5 Volumen del desarenador.** La **Ecuación 25** muestra que para calcular el volumen del desarenador se debe tener la altura del desarenador, la longitud y en ancho de este.

Ecuación 25. Determinación volumen del desarenador

$$VD = h * L * Ancho$$

$$VD = 1,33 \text{ m}^3$$

Donde:

V<sub>D</sub>= Volumen del desarenador (m<sup>3</sup>)

h= Altura del desarenador (m)

L= Longitud del desarenador (m)

Ancho= Ancho del desarenador (m)

**5.1.2.6 Ancho del desarenador.** Según las relaciones Ancho: Profundidad dadas por el RAS 2000<sup>89</sup> se determina el ancho del desarenador, la relación tomada es 1:1, por lo que el ancho tendrá la misma media que la profundidad, es decir 0,50m. Se toma esta relación debido a que la población servida y el caudal son bajos.

Tabla 27. Dimensionamiento del desarenador

<b>Velocidad de sedimentación a temperatura promedio</b>	
Diámetro (d)	0,0002 m
Velocidad de sedimentación (w)	0,02826 m/s
Reynolds ( $R_e$ )	5,89
<b>Longitud del desarenador</b>	
Profundidad (h)	0,5 m
Velocidad mínima del agua (v)	0,3 m/s
Velocidad de sedimentación (w)	0,02826 m/s
Longitud desarenador (L)	5,31 m
<b>Tiempo de retención</b>	
Profundidad (h)	0,5 m
Velocidad de sedimentación (w)	0,02826 m/s
Tiempo de retención (t)	17.70 s
<b>Volumen de agua conducido en ese tiempo</b>	
Caudal de diseño (Q)	0,0024 m <sup>3</sup> /s
Tiempo de retención (t)	17,70 s
Volumen (V)	0,04248 m <sup>3</sup>
Volumen del desarenador ( $V_D$ )	1,33 m <sup>3</sup>
<b>Ancho del desarenador</b>	
Ancho	0,5 m

**5.1.3 Tamices.** Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 no se recomienda el uso de tamices para sistemas de baja y media complejidad.<sup>90</sup>

Los tamices también son mayormente usados para tratamiento de aguas industriales.

En este caso para el municipio de Bituima se maneja un sistema de baja complejidad y son aguas residuales domésticas, por lo que no se usaran tamices.

<sup>89</sup> Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. RAS 2000. Título E.

<sup>90</sup> Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. RAS 2000. Título E, p.55

## 5.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

**5.2.1 Trampa de grasas y aceite.** Es un dispositivo que se encarga de separar las grasas y aceites del agua, en el cual la grasa sale por la superficie y el agua aclarada sale por la parte inferior.<sup>91</sup>

El agua debe tener un tiempo determinado de retención hidráulica para llevar a cabo la clarificación.

La limpieza se debe realizar cuando se alcance un 75 % de la capacidad mínima del tanque, para evitar malos olores y el escape de residuos de grasa.<sup>92</sup>

Según el RAS 2000 el tanque debe tener las siguientes características mostradas en la **Tabla 28**.

Tabla 28. Características trampa de grasas

Características trampa de grasas	
Área (m <sup>2</sup> )	0.25 metros cuadrados por cada litro por segundo.
Relación Ancho – Longitud	1:4 hasta 1:18
Caudal de entrada (L/s)	2 – 9
Tiempo de retención (min)	3

Fuente. Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000 TITULO E)

Tabla 29. Capacidad de retención de grasa

Capacidad de retención de grasa		
Caudal (L/min)	Capacidad de retención de grasa (Kg)	Capacidad máxima recomendada (L)
144	36	378

Fuente. Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000 TITULO E)

El valor de retención de grasa del proceso se tomó de la **Tabla 29**, teniendo en cuenta el caudal de diseño.

---

<sup>91</sup> TOPANTA VERA, María. Calidad del Agua Grasas y Aceites [En línea]. Disponible en: <<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/.../2/GRASASYACEITES.doc>> [Consultado el 17 de marzo de 2017]

<sup>92</sup> Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. RAS 2000. Título E, p.29



**5.2.1.1 Volumen del sistema.** Para calcular el volumen de la unidad de trampa de grasas y aceites se debe tener el caudal de diseño y el tiempo de retención como muestra la **Ecuación 26**.

Ecuación 26. Volumen del sistema de grasas y aceites

$$V = Q * Tr * 60s$$

Fuente. SIERRA, Deily y ALBARRACIN, Carolina. Diseño e implementación de una unidad piloto de tratamiento biológico no convencional para los vertimientos generados en el matadero de Macanal (Corpochivor). Bogotá D.C 2005

$$V = 0,432 \text{ m}^3$$

Donde:

V= Volumen del sistema (m<sup>3</sup>)

Q= Caudal de diseño (m<sup>3</sup>)

Tr= Tiempo de retención (min)

**5.2.1.2 Área superficial.** El valor de la carga superficial (qs debe estar entre los valores de 2,5 a 4 L/s, por lo que se asume el valor de 4 L/s/m<sup>3</sup>. El área superficial se calcula por medio de la **Ecuación 27**.

Ecuación 27. Área superficial del sistema de grasas y aceites

$$As = \frac{Q}{qs}$$

$$As = 0,60 \text{ m}^2$$

Donde:

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>)

qs= Carga superficial (L/s)

As= Área superficial (m<sup>2</sup>)

Teniendo en cuenta la relación Largo: Ancho obtenida del RAS 2000 título E, esta se asume 1:4 para este caso.

$$L = 4b$$

$$A = 4b * b$$

$$A = 4 * b^2$$

Ecuación 28. Ancho requerido en el equipo

$$b = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

Ecuación 29. Altura requerida en el sistema de grasas y aceites

$$h = \frac{V}{A}$$

Donde:

L = Longitud (m)

b = Ancho (m)

A = Área (m<sup>2</sup>)

V= Volumen del sistema (m<sup>3</sup>)

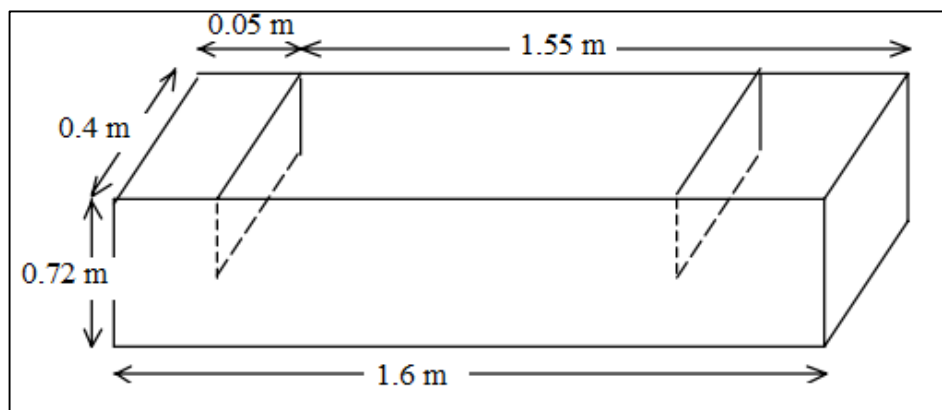
h = Altura (m)

Para determinar el ancho y la altura requerida para el equipo se deben resolver las **Ecuaciones 28** y **29** respectivamente.

Tabla 30. Dimensionamiento trampa de grasas

<b>Volumen del sistema</b>	
Caudal de diseño (Q)	0,0024 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención (Tr)	3 min
Volumen del sistema (V)	0,432 m <sup>3</sup>
<b>Área superficial</b>	
Caudal de diseño (Q)	0,0024 m <sup>3</sup>
Carga superficial (qs)	4 L/s/m <sup>3</sup>
Área superficial (As)	0,60 m <sup>2</sup>
<b>Dimensiones</b>	
Volumen del sistema (V)	0,432 m <sup>3</sup>
Longitud (L)	1,6 m
Ancho (b)	0,39 m ≈ 0,40 m
Área (A)	0,60 m <sup>2</sup>
Altura (h)	0,72 m
Borde libre (Bl)	0,22 m
Distancia baffles-tanque	0,05 m
Profundidad del baffle a la entrada	0,50 m
Profundidad del baffle a la salida	0,60 m
Diámetro de entrada	0,5 m
Diámetro de salida	0,1 m

Figura 15. Esquema Trampa de grasas y aceites



La trampa de grasa tendrá forma rectangular y las dimensiones de esta se especifican en la **Tabla 30**, la trampa tendrá pantallas deflectoras, ubicadas una a la entrada y una a la salida, el objetivo es evitar la turbulencia dentro de la unidad, el deflector ubicado a la salida será de mayor tamaño, ya que en ella se dará la mayor retención de grasas. La eliminación de las grasas y aceites se llevará a cabo por medio de flotación. En la **Figura 15** se muestra un esquema de una Trampa de grasas y aceites.

Los residuos de grasas se retirarán de la superficie por medio de un vertedero, las grasas recogidas deberán ser retiradas por la persona encargada de la planta, la manera de disponer estos residuos de grasa es llevarlos a Mondoñedo para que acá realicen un correcto procedimiento de estas.

**5.2.2 Tanque homogeneizador.** “Se requiere de un tanque homogeneizador para amortiguar los picos de caudal y para regular las propiedades fisicoquímicas”.<sup>93</sup> Para calcular el volumen del tanque se debe tener el caudal de diseño el cual es 2,4 L/s  $\approx$  8.64 m<sup>3</sup>/h y el tiempo de retención y se determina como se muestra en la **Ecuación 30**.

Ecuación 30. Determinación volumen tanque homogeneizador

$$V = Q * Tr$$

$$V = 25.92 \approx 26 \text{ m}^3$$

Donde:

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h)

Tr= Tiempo de retención (hora)

<sup>93</sup> Planta de tratamiento de los afluentes. [En línea]. Disponible en:

<[http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/planta\\_de\\_tratamiento\\_efl.htm](http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/planta_de_tratamiento_efl.htm)> [Consultado el 25 de marzo de 2017]

V= volumen tanque homogeneizador (m<sup>3</sup>)

El tiempo de retención tomado es de 3 horas, es un tiempo corto para evitar malos olores.

Tabla 31. Dimensionamiento Tanque Homogeneizador

Dimensionamiento tanque homogeneizador	
Caudal (Q)	8.64 m <sup>3</sup> /h
Tiempo de retención (Tr)	3 horas
Volumen (V)	25.92 ≈ 26 m <sup>3</sup>
Altura (h)	2 m
Área (A)	12.96 m <sup>2</sup>
Longitud	3 m
Ancho	4.32 m

En la **Tabla 31** se muestran las especificaciones para el tanque Homogeneizador en el tratamiento del agua residual del Municipio.

**5.2.2.1 Potencia de la bomba:** La potencia de la bomba se calcula con la Ecuación 31, para ello se debe tener presente la densidad del agua residual el cual es tomado de manera teórica, gravedad, altura y el caudal de diseño, como se establece en la **Ecuación 31**.

Ecuación 31. Calculo potencia de la bomba para tanque homogeneizador

$$P = \rho * Q * g * h$$

Fuente. Ecuaciones para bombas y motores. Disponible en <  
<http://www.solucionesenhidraulica.com.mx/archivos/Formulasimportantes.pdf>>

$$P = 56.45 \text{ W} = 0.0757 \text{ HP}$$

Donde:

P= Potencia de la bomba (HP)

$\rho$ =Densidad del agua residual (Kg/m<sup>3</sup>)

g= Gravedad (m / s<sup>2</sup>)

h=Altura (m)

Q= Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

Tabla 32. Potencia bomba del Tanque Homogenizador

<b>Potencia bomba del tanque homogenizador</b>	
Densidad del agua residual <sup>94</sup>	1200 kg/m <sup>3</sup>
Caudal (Q)	0.0024 m <sup>3</sup> /s
Gravedad (g)	9.8 m / s <sup>2</sup>
Altura (h)	2 m
Potencia (P)	56.45 W = 0.0757 HP

Se usan bombas sumergibles, pues estas no dependen de la presión del aire que las rodea, así que pueden impulsar los líquidos a alturas considerables<sup>95</sup>, estas vienen con aleación, rodamientos protegidos y sellos mecánicos resistentes a la abrasión y a las características del agua residual.

La potencia requerida para la bomba se muestra en la **Tabla 32**. En el mercado se consiguen bombas de 1/3 de HP en adelante, por lo tanto, se empleará una bomba con esta capacidad, con retorno de agua en exceso al tanque homogenizador. Para la ubicación de la bomba debe construirse un apoyo o base.

### 5.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

**5.3.1 Lodos activados.** La digestión aerobia se emplea en plantas de tratamiento pequeñas, las tres ventajas principales son: se consiguen menores concentraciones de DBO, puede requerir menor costo inicial y produce un producto final biológicamente estable y sin olores. La aplicación de oxígeno, se efectuará inyectando aire al agua a través de un sistema de aireación.<sup>96</sup>

El lodo producido en el proceso de aireación, se retirará a otro tanque, donde se realizará una recirculación de este, para asegurar la presencia de bacterias necesarias para el proceso. El reactor para procesos convencionales de lodos activados es de flujo pistón.<sup>97</sup>

<sup>94</sup> ALVIZ, Medina y Cuesto, David. Diseño de una sistema de aireación para una planta de lodos activados en zofranca Mamonal. Cartagena. 2012. Pág, 55.

<sup>95</sup>Quiminet, Bombas sumergibles. [En línea]. Disponible en: < <https://www.quiminet.com/articulos/conozca-las-caracteristicas-y-aplicaciones-de-las-bombas-sumergibles-2715179.htm> > [Consultado el 14 de julio de 2017]

<sup>96</sup> CHARPENTIER, Joseph. Tratamiento de aguas residuales con lodos activados. Cuaderno tecnológico n° 6. Abril 2014. Pág, 8.

<sup>97</sup> MOELLER, Gabriela y TOMASINI, Ana. Microbiología de lodos activados. Pág, 163.

Tabla 33. Parámetros de diseño y operación de procesos de lodos activados

PARÁMETROS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DE PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS	
Proceso	Convencional
Periodo de aireación $\theta$ , horas	4 – 8
Carga volumétrica g DBO/m <sup>3</sup> d	300 – 600
A / M gDBO/gssVLMd	0,2 – 0,4
X SSLM Mg/L	1.500 – 3.000
Edad de lodos $\theta_c$ , d	5 – 15
Tasa de recirculación R, %	25 – 75
Eficiencia DBO %	85 – 95
Observaciones	Sensible a cargas súbitas.

A/M (Relación alimento microorganismo)

Fuente. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Jairo Alberto Romero Rojas

En la **Tabla 33** se establecen los parámetros de diseño para un sistema de lodos activados convencionales.

**5.3.1.1 Criterios de diseño.** En la **Tabla 34** se muestran los criterios de diseño necesarios para el dimensionamiento del reactor de lodos.

Tabla 34. Criterios de diseño de lodos activados

Criterios de diseño de lodos activados	
Sistema propuesto	Convencional
Caudal	0,0024 m <sup>3</sup> /s
Tiempo de retención hidráulica	8 horas
Reducción de la DBO	85 – 95 %
Concentración de solidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (X)	3800 mgssv/L
Edad del lodo	10 días
Tasa de recirculación	50 %

**5.3.1.2 Determinación del volumen.** Para determinar el volumen del tanque se tuvo en cuenta los parámetros de diseño y operación de procesos de lodos activos, tratando el proceso como convencional, el tiempo de retención tiene un rango de entre 4 a 8 horas, en este caso se tomó el valor más alto, para obtener un resultado que cumpla con la Resolución 631 y con los objetivos de calidad de la cuenca. La **Ecuación 32** muestra cómo se debe determinar el volumen del reactor para el sistema de lodos activados.

Ecuación 32. Determinación Volumen del tanque de aireación

$$V = Q * \theta$$

$$V = 69,12 \text{ m}^3$$

Donde:

$\theta$  = Tiempo de retención hidráulica o tiempo de aireación (hora)

V = Volumen del tanque de aireación ( $\text{m}^3$ )

Q = Caudal de aguas residuales (L/h)

### 5.3.1.3 Dimensionamiento del tanque de aireación.

Ecuación 33. Área del tanque de aireación

$$A = \frac{V}{h}$$

$$A = 34,56 \text{ m}^2 \approx 34,6 \text{ m}^2$$

Donde:

A = Área del tanque ( $\text{m}^2$ )

V = Volumen del tanque de aireación ( $\text{m}^3$ )

h = Altura del tanque (m)

Para determinar el área del tanque de aireación, se supone una altura de dos metros (2 m). Se considerando una longitud de 7 m para determinar el ancho del reactor.

Ecuación 34. Determinación ancho del reactor

$$A = L * a$$

$$A = 34,6 \text{ m}^2$$

$$L = 7 \text{ m}$$

$$a = 4,95 \text{ m}$$

El tanque de aireación de lodos activados tendrá las dimensiones establecidas en la **Tabla 35**. Las cuales se calculan con la **Ecuación 33** y con el despeje de la **Ecuación 34** para determinar el ancho del reactor.

Tabla 35. Dimensionamiento del Tanque de aireación

Determinación del volumen	
Tiempo de retención hidráulica ( $\theta$ )	8 horas
Caudal de aguas residuales (Q)	8640 L/hora
Volumen del tanque de aireación (V)	69,12 m <sup>3</sup>
Dimensionamiento del tanque de aireación	
Volumen del tanque de aireación (V)	69,12 m <sup>3</sup>
Altura del tanque (h)	2 m
Área del tanque (A)	34,56 m <sup>2</sup> $\approx$ 34,6 m <sup>2</sup>
Longitud (L)	7 m
Ancho (a)	4,95 m

**5.3.1.4 Carga orgánica.** Cantidad de materia orgánica que se quiere eliminar se determina por medio de la **Ecuación 35**.

Ecuación 35. Carga orgánica del proceso

$$CO = DBO * Q$$

Donde:

CO = Carga orgánica del proceso mg O<sub>2</sub>/s

DBO = Concentración de demanda biológica de oxígeno mg O<sub>2</sub> /L

Q = Caudal de las aguas residuales L/s

Este cálculo se realizó tomando como referencia el valor de DBO más alto registrado en los últimos meses en el Municipio, el cual es 740  $\frac{mg\ o_2}{L}$ .

Volumen con factor de seguridad del 20 %	55303 L
--	---------

Se realizan los cálculos siguientes con un volumen de 55303 L, que será el volumen de la lámina de agua con un factor de seguridad de 20 %.

**5.3.1.5 Carga orgánica volumétrica.** Este parámetro se determina por medio de la **Ecuación 36**.

Ecuación 36. Carga orgánica volumétrica del proceso

$$COV = \frac{Q * DBO}{V1}$$

$$COV = 32.11\ mgO_2/m^3s$$



Donde:

COV= Carga orgánica volumétrica (mgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>s)

Q= Caudal de las aguas residuales (L/s)

DBO= Concentración de demanda biológica de oxígeno (mgO<sub>2</sub> /L)

V= Volumen del tanque de aireación (m<sup>3</sup>)

**5.3.1.6 Relación alimento microorganismo.** La relación alimento/microorganismo (A/M) es una forma de expresar la carga de DBO por unidad de masa microbial en el sistema.<sup>98</sup> Representa la masa de sustrato aplicada al tanque de aireación, contra la masa de sólidos suspendidos (microorganismos) en el tanque de aireación. Y se determina como se muestra en la **Ecuación 37**.

Ecuación 37. Relación alimento/microorganismos del proceso

$$\frac{A}{M} = \frac{Q * DBO}{V * X}$$

$$\frac{A}{M} = 8,45 \times 10^{-6} \text{ mgO}_2/\text{s} * \text{mgssv}$$

Donde:

A/M = Relación alimento/microorganismos (mgO<sub>2</sub>/s\*mgss)

Q = Caudal de agua residual (L/s)

DBO = Demanda biológica de oxígeno del sistema (mgO<sub>2</sub> /L)

V = Volumen del líquido en el tanque de aireación (L)

X = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (mgss/L)

Los valores de la **Tabla 36**, son los parámetros más importantes para el diseño de un reactor de lodos activados y su correcto funcionamiento.

Tabla 36. Parámetros de diseño lodos activados

Carga orgánica	
Concentración de demanda biológica de oxígeno (DBO)	740 mgO <sub>2</sub> /L
Caudal de las aguas residuales (Q)	2,4 L/s
Carga orgánica del proceso (CO)	1776 mgO <sub>2</sub> /s
Carga orgánica volumétrica	
Caudal de las aguas residuales (Q)	2,4 L/s
Concentración de demanda biológica de oxígeno (DBO)	740 mgO <sub>2</sub> /L

<sup>98</sup> TAVERA RODRÍGUEZ, Jairo. Diseño e implementación de una unidad piloto para la remoción biológica de compuestos nitrogenados presentes en el agua subterránea de un pozo utilizado por la EMAAF – ESP de Funza, Bogotá, 2006, p. 25.

Tabla 36 (Continuación)

<b>Carga Volumétrica</b>	
Volumen con factor de seguridad del 20 % (V1)	55.303 m <sup>3</sup>
Carga orgánica volumétrica (COV)	32.11 mgO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> s
<b>Relación alimento microorganismo</b>	
Caudal de agua residual (Q)	2,4 L/s
Concentración de demanda biológica de oxígeno (DBO)	740 mgO <sub>2</sub> /L
Volumen del tanque de aireación (V)	69129 L
Volumen con factor de seguridad del 20 % (V1)	55303 L
Concentración de solidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (X)	3800 mgssv/L
Relación alimento/microorganismos (A/M)	8,45 X10 <sup>-6</sup> mgO <sub>2</sub> /s*mgssv

**5.3.1.7 Crecimiento bacteriano y edad del lodo.** Tomando como referencio el intervalo de retención celular de 5 a 15 días mostrado en la **Tabla 34**, se establece un promedio de 10 días para realizar los cálculos siguientes.

**5.3.1.8 Purga de lodo.** El lodo purgado se calcula por medio de la **Ecuación 38**, como se muestra a continuación.

Ecuación 38. Determinación caudal del lodo a purgar

$$Q_w = \frac{V1 * X}{\theta_c * X_R}$$

$$Q_w = 1.40 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde:

$Q_w$  = Caudal del lodo a purgar (m<sup>3</sup>/día)

V1 = Volumen con factor de seguridad del 20 %

X = Concentración de solidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (kg/m<sup>3</sup>)

$\theta_c$  = Tiempo de retención celular (día)

$X_R$  = Concentración de solidos suspendidos volátiles en la recirculación (kg/m<sup>3</sup>)

**5.3.1.9 Recirculación del lodo.** El lodo recirculado se establece resolviendo la **Ecuación 39**.

*Ecuación 39. Determinación Caudal de recirculación del lodo*

$$Q_R = \frac{Q * X}{X_R - X}$$

$$Q_R = 70.35 \text{ m}^3/\text{día}$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/día)

X = Concentración de solidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (kg ssv /m<sup>3</sup>)

X<sub>R</sub> = Concentración de solidos suspendidos volátiles en la recirculación (ssv /m<sup>3</sup>)

Q<sub>R</sub> = Caudal de recirculación del lodo (m<sup>3</sup>/día).

Tabla 37. Caudal de Purga y Recirculación del lodo

<b>Purga de lodo</b>	
Volumen con factor de seguridad del 20 % (V1)	55.303 m <sup>3</sup>
Concentración de solidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (X)	3.8 kg ssv /m <sup>3</sup>
Tiempo de retención celular (θ)	10 días
Concentración de solidos suspendidos volátiles en la recirculación (X <sub>R</sub> )	15 kg ssv /m <sup>3</sup>
Caudal del lodo a purgar (Q <sub>w</sub> )	1.40 m <sup>3</sup> /día
<b>Recirculación del lodo</b>	
Caudal (Q)	207,36 m <sup>3</sup> /día
Concentración de solidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (X)	3.8 kg ssv /m <sup>3</sup>
Concentración de solidos suspendidos volátiles en la recirculación (X <sub>R</sub> )	15 kg ssv /m <sup>3</sup>
Caudal de recirculación del lodo (Q <sub>R</sub> )	70.35 m <sup>3</sup> /día

En la **Tabla 37** se muestran tanto el caudal de purga del lodo, como el caudal de recirculación del lodo al reactor. Estos parámetros dependen del tipo de microorganismos y de la operación de la planta. Para esto se debe realizar un análisis del lodo obtenido en la planta.

**5.3.1.10 Relación de recirculación o coeficiente de retorno.** Es la relación de existe entre el caudal de retorno de lodos del sedimentador secundario y el caudal neto de agua residual a tratar. Y se determina por medio de la **Ecuación 40**.

Ecuación 40. Relación de recirculación o coeficiente de retorno

$$R = \frac{Q_R}{Q} = 0.339 = 33.9 \%$$

Fuente. GIRALDO, Luis y RESTREPO, Isabel. Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. 2003. Pág.48.

**5.3.1.11 Requerimiento de oxígeno.** La aireación tiene como propósito: suministrar oxígeno a las células, mantener las células en suspensión y mantener en contacto íntimo el residuo con los lodos activos.<sup>99</sup> Se implementará un sistema de aire difuso, en el cual el aire se rompe en burbujas y se dispersa a través del tanque. Consta de un equipo conductor del aire (compresor) y difusor que distribuye el aire en el volumen de agua. La concentración de oxígeno no debe ser inferior a 2 mg/L,<sup>100</sup> por lo que se controla con un oxímetro para un buen funcionamiento del sistema.

**5.3.1.12 Diseño del compresor.** Se diseña con una capacidad de trabajar con diversos caudales de aire, dentro de un intervalo determinado de presiones. Se usa un soplador de desplazamiento positivo, debido a que se ajusta a procesos con flujo de aire que pueden variar con regularidad. En la **Tabla 38** se muestra la potencia requerida por el compresor para el sistema de lodos activados. Para hallar la potencia se deben resolver la **Ecuaciones 42, 43, 44, 45 y 46** respectivamente. Se supone una eficiencia del 80 %

Ecuación 41. Presión del agua para el diseño del compresor

$$P_{H2O} = \rho * g * h$$

Fuente. MEZA, Anibal y CUETO, David. Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en Zofranca Mamonal. Pág. 49

Ecuación 42. Presión absoluta para el diseño del compresor

$$P_{absoluta} = P_{atm} + P_{H2O}$$

<sup>99</sup> GIRALDO VALENCIA, Luis, RESTREPO MARUALANDA, Isabel. Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2003.

<sup>100</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, 2000, p.65

Ecuación 43. Delta de temperatura

$$\Delta T_{ad} = \frac{T_1}{n} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

Ecuación 44. Temperatura

$$T_2 = T_1 + \Delta T_{ad}$$

$$T_2 = 47.65^\circ$$

Ecuación 45. Potencia del compresor

$$P_o = \frac{0.22 Q}{n} \left[ \left( \frac{P_2}{14.7} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$$P_o = 9.68 \text{ HP}$$

Tabla 38. Potencia del compresor

Potencia del compresor	
DBO alimentado diariamente al sistema	153,44 kg DBO/ día
Cantidad de aire requerido	16,40 m <sup>3</sup> aire / minuto
Presión hidrostática del agua	3,41 psi
Presión absoluta	18,11 psi
Temperatura a la salida del compresor (T2)	47,65 °C
Potencia del compresor (Po)	9,68 HP

**5.3.1.13 Diseño de los difusores.** Para el tamaño recomendado de tuberías principales de aire difuso.

Tabla 39. Parámetros para el diseño de difusores.

Diámetro interno (mm)	Flujo de aire (m <sup>3</sup> /min)
100	3.75
150	11.05
225	32.2

**Fuente.** Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Jairo Alberto Romero Rojas

En la **Tabla 39** se muestran los parámetros para el diseño de difusores, se realizó Interpolación para determinar el diámetro interno con un flujo de 16.40 m<sup>3</sup> Aire / min,

da un diámetro de 161.49 mm, se realiza una aproximación a 162 mm para realizar los cálculos. El material recomendado es acero inoxidable.

Comercialmente se encuentran difusores con un diámetro de 160 mm, se recomienda una densidad de 1 a 6 difusores por metro cuadrado<sup>101</sup>, entre mayor número de difusores se tiene una mayor transferencia de oxígeno.

Tabla 40. Determinación del tamaño de burbuja para los difusores

Burbujas	Régimen	Eficiencia	Tamaño de burbuja
Burbuja simple o fina	$0 < N_R < 200$	10 – 30 %	2 – 5 mm
Burbuja intermedia	$200 < N_R < 2000$	6 -15 %	6 – 10 mm
Burbuja a chorro	$N_R > 2000$	4 – 8 %	10 mm

**Fuente.** Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Jairo Alberto Romero Rojas

Los difusores de burbuja fina tienen mayor transferencia de oxígeno que los de burbuja gruesa y la transferencia de masa tiene mayor eficiencia entre menor sea el tamaño de la burbuja<sup>102</sup>, por esta razón se usa un difusor de burbuja fina con las características mostradas en la **Tabla 40**.

**5.3.1.14 Diámetro agujeros de difusores.** El diámetro de los agujeros de los difusores se determina resolviendo la **Ecuación 46**.

Ecuación 46. Determinación del diámetro de los agujeros de los difusores

$$D_o = \frac{D_b^3 * g * (\rho_l - \rho_g)}{6 * \sigma}$$

$$D_o = 0.18 \text{ mm}$$

Donde

$D_o$  = Diámetro de difusores (mm)

$D_b$  = Diámetro de burbuja (m)

$g$  = gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$\rho_l$  = Densidad del líquido ( $\text{Kg/m}^3$ )

<sup>101</sup> Difusores de membrana de burbuja fina. [En línea]. Disponible en:

<<http://www.repicky.com.ar/difusores-de-membrana-de-burbuja-fina.html>> [Consultado el 10 de abril de 2017]

<sup>102</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, 2000, p.390

$\rho_g$  = Densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>)

$\sigma$  = Tensión superficial de la película de gas-liquido (N/m)

**5.3.1.15 Frecuencia de formación de burbuja.** La frecuencia de formación de burbuja se determina teniendo en cuenta el caudal de diseño y el diámetro de burbuja previamente establecido, desarrollando la **Ecuación 47**.

Ecuación 47. Frecuencia de formación de burbuja

$$f = \frac{Q}{\frac{\pi * D_b^3}{6}}$$

$$f = 5.72957 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$$

Donde:

f = Frecuencia de formación de burbujas (s<sup>-1</sup>)

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>)

D<sub>b</sub> = Diámetro de la burbuja (m)

Tabla 41. Características de difusores

Diámetro de difusores	
Diámetro de burbuja (D <sub>b</sub> )	0.002 m
gravedad (g)	9.8 m/s <sup>2</sup>
Densidad del líquido( $\rho_l$ )	1200 Kg/m <sup>3</sup>
Densidad del aire ( $\rho_g$ )	1.19 Kg/m <sup>3</sup>
Tensión superficial de la película de gas-liquido ( $\sigma$ )	0.087 N/m
Diámetro agujeros difusores (D <sub>o</sub> )	0.18 mm
Diámetro de difusor	160 mm
Cantidad de difusores	208
Frecuencia de formación de burbuja	
Caudal de diseño (Q)	0.0024 m <sup>3</sup>
Diámetro de la burbuja (D <sub>b</sub> )	0.002 m
Frecuencia de formación de burbujas (f)	5.72957 x10 <sup>5</sup> s <sup>-1</sup>

En la **Tabla 41** se determinaron el diámetro del difusor y la frecuencia de formación de burbujas.

**5.3.2 Sedimentador.** Se utiliza después del proceso de lodos activados para retener los lodos formados y allí poder ser recirculados o tratados.

Tabla 42. Parámetros de diseño del sedimentador

Tipo de tratamiento	Carga superficial (m³/día)		Carga de sólidos (Kg/dm²)		Profundidad (m)
	Caudal promedio	Caudal pico	Caudal promedio	Caudal pico	
Sedimentación después de lodos activados	16 - 32	41 - 49	98 - 147	245	3.7 – 4.6

**Fuente.** Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Jairo Alberto Romero Rojas

En la **Tabla 42** se muestran los parámetros de diseño del sedimentador después del tratamiento de los lodos activados

5.3.2.1 Área del sedimentador. *El área del sedimentador se calcula por medio de la Ecuación 48.*

Ecuación 48. Área del sedimentador

$$A = \frac{Q}{\text{Carga superficial promedio}}$$

Fuente. VILLAREAL, Willam. Diseño para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales en el Estadio de la Universidad Técnica del Norte, Cantón Ibarra Provincia Imbabura. Febrero 2015, p. 55

$$A = 8,64 \text{ m}^2$$

Por medio de la **Ecuación 49** se calcula el caudal pico del afluente se asume el 100 % de recirculación.

Ecuación 49. . Cálculo del caudal pico del afluente

$$Q_{\text{pico}} = 3 * Q$$

$$Q_{\text{pico}} = 622.08 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Área del sedimentador para el caudal pico se determina por la **Ecuación 50**.



Ecuación 50. Área del sedimentador para el caudal pico

$$A = \frac{Q \text{ pico}}{\text{carga superficial pico}}$$

$$A = 13,824 \text{ m}^2$$

Flujo pico de sólidos se calcula resolviendo la **Ecuación 51**.

Ecuación 51. Flujo pico de sólidos

$$Q_{\text{sólidos}} = Q \text{ pico} * X$$

$$Q_{\text{sólidos}} = 2363,904 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Área requerida por carga de sólidos se determina por medio de la **Ecuación 52**.

Ecuación 52. Área requerida por carga de sólidos

$$A = \frac{\text{flujo pico de sólidos}}{\text{carga pico de sólidos}}$$

$$A = 9,65 \text{ m}^2$$

Se adopta como área de diseño la correspondiente al caudal pico  $A = 13,824 \text{ m}^2$ .

Diámetro del sedimentador se calcula por medio de la **Ecuación 53**.

Ecuación 53. Diámetro del sedimentador

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$D = 4,19 \text{ m}$$

Volumen del sedimentador para una profundidad de agua de 4 m. por medio de la **Ecuación 54** se determina dicho volumen.

Ecuación 54. Volumen del sedimentador

$$V = A * \text{Profundidad}$$

$$V = 55,3 \text{ m}^3$$

La carga de rebose sobre el vertedero perimetral se calcula por medio de la **Ecuación 55** para el caudal pico.

Ecuación 55. Carga de rebose sobre el vertedero perimetral

$$CV = \frac{Q \text{ pico del afluente}}{D * \pi}$$

$$CV = 47,25 \frac{m^2}{dia}$$

El tiempo de retención se determina con la **Ecuación 56**.

Ecuación 56. Determinación tiempo de retención del sedimentador

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

$$\theta = 0,26 \text{ dias} \approx 6,4 \text{ horas}$$

*Tabla 43. Dimensionamiento sedimentador*

Área del sedimentador	
Caudal (Q)	207.36 m <sup>3</sup> /día
Carga superficial promedio	24 m/día
Área del sedimentador (A)	8.64 m <sup>2</sup>
Caudal Pico (Q pico)	622.08 m <sup>3</sup> /día
Área del sedimentador para el caudal pico	13.824 m <sup>2</sup>
Flujo pico de sólidos (Q solidos)	2363,904 kg/día
Área requerida por carga de sólidos	9.65 m <sup>2</sup>
Diámetro del sedimentador	4,19 m
Volumen del sedimentador	55.3 m <sup>3</sup>
Altura	4 m
Carga de rebose sobre el vertedero perimetral para el caudal pico (cv)	47.25 m <sup>2</sup> /día
Tiempo de retención ( $\theta$ )	6.4 horas

En la **Tabla 43** se muestra el dimensionamiento del sedimentador, junto con el caudal pico y el tiempo de retención requeridos.

## 5.4 TRATAMIENTO DE LODOS

Los lodos dependen del lugar donde provienen, su edad y el proceso en el que se han involucrado y la cantidad producida depende de la concentración en el agua residual, están compuestos por materia orgánica, la cual se descompone y tiene efectos indeseables.<sup>103</sup>

El objetivo de este tratamiento, es estabilizar el lodo para una degradación controlada de sustancias orgánicas, así como la reducción del volumen y el peso, la higiene y la mejora de las propiedades del lodo para su disposición final.

Al lodo se le realizan dos procesos:

- **Espesamiento:** En este proceso se consigue una reducción del volumen entre el 30 y el 80% antes de cualquier otro tratamiento,<sup>104</sup> el lodo es comprimido en la base del tanque mediante gravedad. Una ventaja es el no consumo de energía. Se aprovecha la mayor densidad de los lodos frente al agua y de esta manera el lodo se va acumulando en la parte inferior.
- **Deshidratación:** Se sigue reduciendo la humedad, para obtener un producto de fácil manejo y reducir costos de transporte. Se recomienda una deshidratación natural por lechos de secado, es uno de los procesos con mayor antigüedad, lo cual lo vuelve un proceso práctico y sencillo en su realización. Se usan lechos rectangulares de poca profundidad, que a su vez posean fondos porosos.<sup>105</sup> La deshidratación se logra por el drenaje de las capas inferiores y a la evaporación de la superficie bajo la acción del sol y el viento. El tiempo para el secado cambia según las condiciones climáticas y meteorológicas de la zona. El operador deberá llevar un registro diario del nivel de descenso, a fin de determinar el tiempo que demora el lodo en deshidratarse. En el mantenimiento se reemplaza la arena perdida durante la remoción del lodo seco, por arena nueva de igual calidad.<sup>106</sup> En la **Figura 16** se puede observar el esquema general de los lechos de secado.

---

<sup>103</sup> GOMEZ MOLINA, Laura, MERCHAN BERMUDEZ, Ángela. Caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual industrial de una empresa de café del Departamento de Caldas. Universidad Católica de Manizales. Manizales, 2016.

<sup>104</sup> Tratamiento de lodos. LENNTECH [En línea]. Disponible en: < <http://www.lennotech.es/tratamiento-lodos-espesamiento.htm> > [Consultado el 20 de abril de 2017]

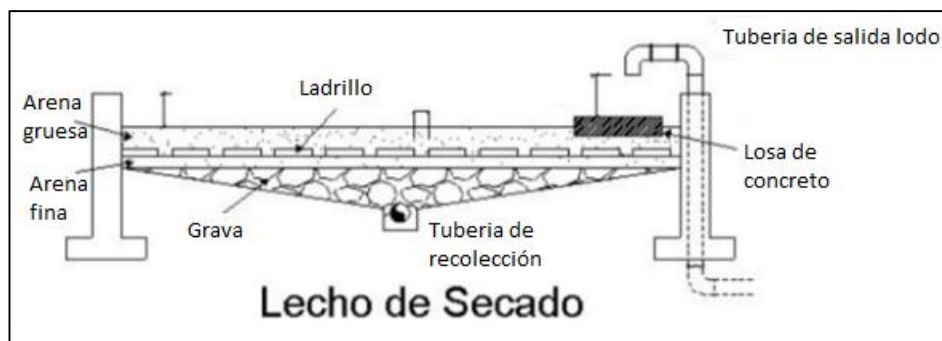
<sup>105</sup> Métodos de deshidratación de lodos. [En línea]. Disponible en:

<<https://www.quiminet.com/articulos/metodos-de-deshidratacion-de-lodos-2565875.htm>> [Consultado el 20 de abril de 2017]

<sup>106</sup> Operación y mantenimiento de lechos de secado. [En línea]. Disponible en:

<[www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/029505/029505-10.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/029505/029505-10.pdf)> [Consultado el 20 de abril de 2017]

Figura 16. Esquema de lechos de secado



Fuente. GALLEGOS, Omar. PTAR para pequeños poblados. Disponible de <<https://es.slideshare.net/ciimsa/ptarpequeas>>

El material seco, se dispondrá en el relleno sanitario de Mondoñedo ubicado por la vía Mosquera-La Mesa en un terreno de aproximadamente 40 hectáreas.

## 6. COSTOS

La finalidad del capítulo es determinar los costos necesarios para realizar el proyecto, en el cual se incluye costo de inversión y de mantenimiento.

### 6.1 INVERSION DE LOS EQUIPOS

Se tiene en cuenta tanto el costo de equipos y accesorios, como el respectivo montaje en el sitio y costos asociados.

#### 6.1.1 Costo transporte y excavación

Tabla 44. Costo de transporte y excavación

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Excavación	160 m <sup>3</sup>	18000	2.880.000
2	Transporte tanques			9.000.000
3	Armado tanque lodos			3.000.000
4	Alquiler volqueta y retroexcavadora	30 horas	100.000	3.000.000
5	Montaje de la PTAR (2 personas)	7 días	70.000	490.000
TOTAL				18.370.000

**6.1.2 Costo de equipos y accesorios.** Todos los tanques se protegerán contra la corrosión aplicando pintura epóxica en el interior y exterior del tanque, adicional a esto los tanques rectangulares van reforzados con ángulos rígidos para evitar su deformación. La cotización de los tanques se hizo por parte de la empresa DENKER S.A.S y se encuentra en el **Anexo C**.

Tabla 45. Costo de equipos y accesorios

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
<b>1</b>	<b>Rejillas</b>			<b>669.555</b>
	Rejas- Acero Inoxidable 304 calibre 16	1 lámina Ac. Inoxidable 304 (1.22 x 2.40 ) m Calibre 12	520.900	520.900
	Canal- concreto- 3000 psi	0,6 m <sup>3</sup>	247.758	148.655
<b>2</b>	<b>Desarenador</b>			<b>2.975.000</b>
	Tanque para desarenador (rectangular)	1	2.975.000	2.975.000
<b>3</b>	<b>Trampa de grasas y aceite</b>			<b>2.722.400</b>
	Tanque trampa de grasas (4.5 mm de espesor) (rectangular)	1	2.201.500	2.201.500
	Acero Inoxidable para bafles	1 lámina Ac. Inoxidable 304 (1.22 x 2.40 ) m Calibre 12	520.900	520.900
<b>4</b>	<b>Tanque Homogenizador</b>			<b>27.370.000</b>
	Tanque homogenizador (8 mm de espesor) (rectangular)	1	27.370.000	27.370.000
<b>5</b>	<b>Lodos activados</b>			<b>66.640.000</b>
	Tanque lodos activados ( 9.5 mm de espesor) (rectangular)	1	66.640.000	66.640.000
<b>6</b>	<b>Sedimentador</b>			<b>71.400.000</b>
	Tanque sedimentador redondo (9 mm de espesor)	1	71.400.000	71.400.000
<b>7</b>	<b>Lechos de secado para lodos</b>			<b>59.892.283</b>
<b>8</b>	<b>Válvulas</b>			<b>6.571.054</b>
	Válvula Anti-retorno	7	938.722	6.571.054
<b>9</b>	<b>Tubería 6"</b>			<b>5.780.368</b>

Tabla 45 (Continuación)

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
	Tubería doble pared NTC 3722-3 serie 8 (57 psi) tubo por 6 metros	20	227.414	4.548.280
	Accesorio doble pared en tee	2	65.944	131.888
	Accesorio codo 90°	10	110.020	1.100.200
<b>10</b>	<b>Compresor</b>			<b>4.500.000</b>
	Compresor 10 HP	1	4.500.000	4.500.000
<b>11</b>	<b>Difusor</b>			<b>15.184.000</b>
	Difusores burbuja fina	208	73.000	15.184.000
<b>12</b>	<b>Bombas</b>			<b>1.500.000</b>
	Bomba sumergible	1	1.500.000	1.500.000
<b>TOTAL EQUIPOS Y ACCESORIOS (COP)</b>				<b>265.204.661</b>

El CAPEX o gastos de capital se determinaron en la **Tabla 44** y **Tabla 45** arrojando un total de doscientos ochenta y tres millones quinientos setenta y cuatro mil seiscientos sesenta y un pesos M/cte (283.574.661). Estos gastos incluyen inversión de equipos, transporte e instalación de los mismos.

Para la compra de los equipos se tomará un crédito Bancario con el banco popular el cual ofrece una tasa de interés anual del 11,43% para un periodo de 3 a 5 años de crédito, tomando esto como referencia se realiza una tabla de amortización a tres años, con cuotas fijas de pago, como se muestra en la **Tabla 46**.

Tabla 46. Tabla de Amortización

TABLA DE AMORTIZACIÓN A CUOTAS FIJAS				
INFORMACION				
Valor de crédito (COP)		265204661		
Banco		Banco Popular		
Tasa de interés efectiva anual		11.43%		
Tasa de interés mensual		0.91%		
Tiempo (meses)		36		
Cuota	Saldo capital (COP)	Abono capital	Interés	Total cuota
<b>0</b>	\$ 265,204,661			
<b>1</b>	\$ 258,945,607	\$ 6,259,054	\$ 2,413,362	\$ 8,672,417
<b>2</b>	\$ 252,629,595	\$ 6,316,012	\$ 2,356,405	\$ 8,672,417
<b>3</b>	\$ 246,256,108	\$ 6,373,487	\$ 2,298,929	\$ 8,672,417
<b>4</b>	\$ 239,824,622	\$ 6,431,486	\$ 2,240,931	\$ 8,672,417
<b>5</b>	\$ 233,334,610	\$ 6,490,012	\$ 2,182,404	\$ 8,672,417
<b>6</b>	\$ 226,785,538	\$ 6,549,072	\$ 2,123,345	\$ 8,672,417

**Tabla 46 (Continuación)**

<b>TABLA DE AMORTIZACIÓN A CUOTAS FIJAS</b>				
<b>7</b>	\$ 220,176,870	\$ 6,608,668	\$ 2,063,748	\$ 8,672,417
<b>8</b>	\$ 213,508,063	\$ 6,668,807	\$ 2,003,610	\$ 8,672,417
<b>9</b>	\$ 206,778,570	\$ 6,729,493	\$ 1,942,923	\$ 8,672,417
<b>10</b>	\$ 199,987,838	\$ 6,790,732	\$ 1,881,685	\$ 8,672,417
<b>11</b>	\$ 193,135,311	\$ 6,852,527	\$ 1,819,889	\$ 8,672,417
<b>12</b>	\$ 186,220,426	\$ 6,914,885	\$ 1,757,531	\$ 8,672,417
<b>13</b>	\$ 179,242,615	\$ 6,977,811	\$ 1,694,606	\$ 8,672,417
<b>14</b>	\$ 172,201,307	\$ 7,041,309	\$ 1,631,108	\$ 8,672,417
<b>15</b>	\$ 165,095,922	\$ 7,105,385	\$ 1,567,032	\$ 8,672,417
<b>16</b>	\$ 157,925,878	\$ 7,170,044	\$ 1,502,373	\$ 8,672,417
<b>17</b>	\$ 150,690,587	\$ 7,235,291	\$ 1,437,125	\$ 8,672,417
<b>18</b>	\$ 143,389,455	\$ 7,301,132	\$ 1,371,284	\$ 8,672,417
<b>19</b>	\$ 136,021,883	\$ 7,367,572	\$ 1,304,844	\$ 8,672,417
<b>20</b>	\$ 128,587,265	\$ 7,434,617	\$ 1,237,799	\$ 8,672,417
<b>21</b>	\$ 121,084,993	\$ 7,502,272	\$ 1,170,144	\$ 8,672,417
<b>22</b>	\$ 113,514,450	\$ 7,570,543	\$ 1,101,873	\$ 8,672,417
<b>23</b>	\$ 105,875,015	\$ 7,639,435	\$ 1,032,981	\$ 8,672,417
<b>24</b>	\$ 98,166,061	\$ 7,708,954	\$ 963,463	\$ 8,672,417
<b>25</b>	\$ 90,386,955	\$ 7,779,105	\$ 893,311	\$ 8,672,417
<b>26</b>	\$ 82,537,060	\$ 7,849,895	\$ 822,521	\$ 8,672,417
<b>27</b>	\$ 74,615,731	\$ 7,921,329	\$ 751,087	\$ 8,672,417
<b>28</b>	\$ 66,622,318	\$ 7,993,413	\$ 679,003	\$ 8,672,417
<b>29</b>	\$ 58,556,164	\$ 8,066,153	\$ 606,263	\$ 8,672,417
<b>30</b>	\$ 50,416,609	\$ 8,139,555	\$ 532,861	\$ 8,672,417
<b>31</b>	\$ 42,202,983	\$ 8,213,625	\$ 458,791	\$ 8,672,417
<b>32</b>	\$ 33,914,614	\$ 8,288,369	\$ 384,047	\$ 8,672,417
<b>33</b>	\$ 25,550,820	\$ 8,363,794	\$ 308,623	\$ 8,672,417
<b>34</b>	\$ 17,110,916	\$ 8,439,904	\$ 232,512	\$ 8,672,417
<b>35</b>	\$ 8,594,209	\$ 8,516,707	\$ 155,709	\$ 8,672,417
<b>36</b>	\$ 0	\$ 8,594,209	\$ 78,207	\$ 8,672,417
<b>Valor total acumulado</b>		<b>\$ 265,204,661</b>	<b>\$ 47,002,334</b>	<b>\$ 312,206,995</b>

El banco popular, es el que ofrece una de las tasas de interés más baja para un crédito de este monto, una vez se realiza la amortización a los 36 meses, se estipular cuotas fijas a pagar al banco, por un monto de ocho millones seiscientos setenta y dos mil cuatrocientos diecisiete pesos M/cte. Esto se realiza con el fin de brindar al Municipio una opción de pago viable de los equipos.

## 6.2 COSTO DE OPERACIÓN

En los costos de operación se incluye el costo de la energía usada en los equipos y el costo de los operarios.



### 6.2.1 Costos de energía

Tabla 47. Costo de energía

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total mensual (COP)	Costo total anual (COP)
1	Energía del compresor	$5197,23 \frac{KW - hora}{mes}$	$447,57 \frac{pesos}{KW - hora}$	2.326.124	27.913.490
2	Energía de la bomba	$40,64 \frac{KW - hora}{mes}$	$447,57 \frac{pesos}{KW - hora}$	18.189	218.271
TOTAL (COP)				<b>2.344.313</b>	<b>28.131.761</b>

**6.2.2 Costo de operario.** La planta va a operar 24 horas al día 360 días al año por lo que se requieren de dos operarios, se suspenderá las actividades cada vez que la planta requiera mantenimiento general.

Tabla 48. Costo de operarios

Ítem	Valor mensual (COP)	Valor Anual (COP)
<b>Salario Mínimo Legal Vigente</b>	737.717	8.852.604
<b>Vacaciones</b>	30.738	368.859
<b>Cesantías</b>	61.476	737.717
<b>Interés a las cesantías</b>	7.377	88.526
<b>Prima de servicio</b>	61.476	737.717
<b>Salud</b>	62.706	752.472
<b>Pensión</b>	88.526	1.062.312
<b>Dotación</b>	70.000	840.000
<b>ARL y riesgos</b>	17.970	215.649
Total un operario (COP)	<b>1.137.986</b>	<b>13.655.832</b>
Total dos operarios (COP)	<b>2.275.972</b>	<b>27.311.664</b>

### 6.2.3 Costos de mantenimiento

Tabla 49. Costo de Mantenimiento

Ítem	Descripción	Valor Anual (COP)
1	Pintura Epoxica	1.500.000
2	Mantenimiento equipo de aireación	1.000.000
3	Mantenimiento Bomba	800.000
Total mantenimiento (COP)		<b>3.300.000</b>

El OPEX está constituido por costo de consumo de energía, costo de operarios, y costos de mantenimiento dando un total anual de cincuenta y ocho millones setecientos cuarenta y tres mil cuatrocientos veinticinco pesos M/cte (58.743.425). Los cuales se reflejan en la **Tabla 47**, **Tabla 48** y **Tabla 49** respectivamente.

## 7. CONCLUSIONES

- Para elaborar el diagnostico, se realizó una comparación con los estudios realizados por la CAR en el 2015 en los meses de julio, agosto y septiembre, y con el elaborado en diciembre de 2016 el cual fue realizado por el laboratorio BIOPOLAB LTDA, estos resultados se compararon con la resoluciones 631 de 2015 y la 3461 de 2009, donde se obtuvieron los parámetros en los que el agua residual de la Cabecera Municipal no cumple, permitiendo así el desarrollo del trabajo.
- Teniendo en cuenta la caracterización realizada se establecen y se determinan las alternativas de tratamiento adecuadas para cumplir con la normativa, las opciones analizadas fueron Laguna facultativa, Lodos activados y Biodiscos mediante una matriz de selección donde se evaluaron aspectos claves para el municipio entre los que se consideraron el área, eficiencias de remoción y la producción de plagas y malos olores, así finalmente obteniendo un resultado de 3,79 para Laguna facultativa, 4,21 para lodos activados y 3,74 para Biodiscos, permitiendo de esta manera la elección de un tratamiento biológico de lodos activados.
- Para realizar la experimentación se tuvo en cuenta la DBO como parámetro de control, se hace un nuevo análisis de la DBO el cual arroja un valor de 293 mgO<sub>2</sub>/L antes de entrar al reactor de experimentación. Una vez realizada la experimentación se determinó que los lodos activados cumplen con la eficiencia teórica, logrando de esta manera reducir la DBO del agua residual en aproximadamente un 92 % para cumplir lo establecido en la Resolución 631, en cuanto a la resolución 3461 que es el objetivo de la cuenca para 2020 no se llega al valor establecido pues el lodo es aún muy joven y no esta compactado totalmente. Pero para un sistema real es posible llega a este valor.
- Una vez establecido el tren de tratamiento que consta de: Rejillas, Desarenador, Trampa de grasas y aceites, Tanque homogenizador, Reactor de Lodos y Sedimentador, se realizó un dimensionamiento de estos, logrando determinar volumen y áreas requeridas para la implementación de los equipos en la PTAR.
- Se realizó el análisis de costos para la PTAR, teniendo en cuenta costos de inversión de equipos, costos de operación y una amortización a 3 años para la facilidad de pago.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Realizar la separación de las tuberías del alcantarillado, para que a la planta de tratamiento solo lleguen aguas residuales domésticas y no aguas combinadas.
- Recalcular el nuevo caudal de diseño para la planta de tratamiento, en caso de la separación de tuberías, y así mismo el dimensionamiento de los equipos.
- Realizar un estudio al lodo formado, para de esta manera determinar el tratamiento correcto para este.

## BIBLIOGRAFIA

BARRERA MEDINA, Guillermo (Alcalde Municipal). Plan de Desarrollo Municipal de Bituima 2008-2011. Colombia. Alcaldía de Bituima: Cundinamarca. 2008. 263p.

CISTERNA OSORIO, Pedro y PEÑA, Daisy. Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25000 habitantes.

DEGRÉMONT S.A.S. Tratamiento de fangos. Fichas técnicas Manual Técnico del Agua n°6. Noviembre 2012.

GRUPO SOIL. Tratamientos biológicos, Departamento Ingeniería.

HERNANDEZ TORRES, David Alejandro y SÁNCHEZ CUERVO, Jhoan Sebastián. Diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el Municipio de San Marcos – Departamento de Sucre. Universidad Católica de Colombia. Bogotá. 2014.

INSTITUTO COLOMBINO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta edición. Bogotá: el instituto, 2008.

\_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas, contenido, formas y estructura, NTC 5613. Bogotá: el instituto, 2008.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: el instituto, 1998.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL \_ GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA. Esquema de ordenamiento territorial Municipio de Bituima. [En línea]. <[http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/sig\\_doc2000%20bituima%20Documento%20res%C3%BAmen.pdf](http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/sig_doc2000%20bituima%20Documento%20res%C3%BAmen.pdf)>.

MOELLER, Gabriela. Microbiología de lodos activados.

MONTOYA GIRALDO, Leticia, ALAPE OSORIO, Gerardo y GUTIÉREZ, Carlos. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses sede Bogotá. Universidad Industrial de Santander. 2006.

NOYOLA, Adalberto, MORGAN, Juan Manuel y GUERECA, Leonor. Selección de tecnologías para le tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Instituto de Ingeniería UNAM, México, 2013.

PRETRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL. Tomado de  
<<http://www.tratamientosdelaguaydepuracion.es/pretratamientos-aguas-residuales.html>> .

RAMALHO, R.S., (1996). Introduction to Wastewater Treatment Processes. Second Edition. Editorial Reverté S.A Barcelona.

ROLIM M., S. Sistemas de Lagunas de Estabilización. Editorial Mc Graw Hill, Santa Fe de Bogotá, 2000. pp.31.

ROMERO, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Primera edición. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

SPARROW ALAMO, Edgar. El desarenador. Universidad Nacional del Santa. Perú.2008

VALENCIA LÓPEZ, Adriana Elizabeth. Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis – Provincia de Chimborazo. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. 2013.

## ANEXO A

### DEMOSTRACIÓN CÁLCULOS

#### FACTOR DE MAYORACION

$$HARMON \quad F = 1 + \frac{14}{(4 + 650^{0,5})}$$

$$HARMON \quad F = 1,4$$

$$BABBIT \quad F = \frac{5}{650^{0,2}}$$

$$BABBIT \quad F = 1,37$$

$$FLORES \quad F = \frac{3,5}{650^{0,1}}$$

$$FLORES \quad F = 1,8$$

#### EL CAUDAL MAXIMO HORARIO

$$Q_{(MH)} = F * Q_{(MDF)}$$

$$Q_{(MH)} = 1,83 * 0,99 \frac{L}{s}$$

$$Q_{(MH)} = 1,81 L/s$$

#### LODOS ACTIVADOS LABORATORIO

##### DETERMINACION DE CAUDAL

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

$$Q = \frac{V}{\theta}$$

$$Q = \frac{20 L}{8 HORAS}$$

$$Q = 2,5 \frac{L}{H} = 0.69 \frac{ml}{s}$$

### **CARGA ORGÁNICA**

$$CO = DBO * Q$$

$$CO = 740 \frac{mg\ o_2}{L} * 6,94 \times 10^{-4} \frac{L}{s}$$

$$CO = 0,51 \frac{mg\ o_2}{s}$$

### **CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA**

$$COV = \frac{Q * DBO}{V}$$

$$COV = \frac{740 \frac{mg\ o_2}{L} * 6,94 \times 10^{-4} \frac{L}{s}}{20\ L}$$

$$COV = 0,025 \frac{mg\ o_2}{L * s}$$

### **RELACION ALIMENTO MICROORGANISMO**

$$\frac{A}{M} = \frac{Q * DBO}{V * X_{SS}}$$

$$\frac{A}{M} = \frac{6,94 \times 10^{-4} \frac{L}{s} * 740 \frac{mg\ o_2}{L}}{20\ L * 1867 \frac{mg\ ss}{L}}$$

$$\frac{A}{M} = 1,37 \times 10^{-5} \frac{mg\ o_2}{s * mg\ ss}$$

### **DETERMINACIÓN DEL AREA PARA LA ELABORACION DE LA CAJA EN LODOS ACTIVOS (CUBO).**

$$V = a^3$$

$$0,02\ m^3 = a^3$$

$$a = 0,27\ m$$

$$a = 27\ cm$$



## REJILLAS

### ALTURA O ENERGÍA DE VELOCIDAD DE FLUJO DE APROXIMACIÓN

$$h_v = \frac{(0.3 \text{ m/s})^2}{2 * 9.8066 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.004588 \text{ m}$$

### PERDIDA DE ENERGÍA

$$H = 1.79 * \left(\frac{0.010 \text{ m}}{0.03 \text{ m}}\right)^{\frac{4}{3}} * 0.004588 \text{ m} * \text{sen } 60^\circ = 0.001643 \text{ m}$$

### ÁREA DEL CANAL

$$A = \frac{0.0024 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.3 \text{ m/s}} = 0.008 \text{ m}^2 = 80 \text{ cm}^2$$

### ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA

$$Al = \frac{0.008 \text{ m}^2}{0.30 \text{ m}} = 0.026 \text{ m}$$

### ALTURA DEL CANAL

$$hc = 0.026 \text{ m} + 0.37 \text{ m} = 0.396 \text{ m} \approx 0.4 \text{ m}$$

### LONGITUD DE LA REJILLA

$$L = \frac{0.4 \text{ m}}{\text{sen } 60^\circ} = 0.46 \text{ m}$$

### NUMERO DE BARRAS

$$n * 0.010 + (n - 1) * 0.03 = 0.3$$

$$n = 8.25 \approx 8 \text{ barras}$$

### DESARENADOR

### LONGITUD DEL DESARENADOR

$$L = \frac{0.5 \text{ m} * 0.3 \text{ m/s}}{0.02826 \text{ m/s}} = 5.31 \text{ m}$$

### TIEMPO DE RETENCIÓN

$$t = \frac{0.5 \text{ m}}{0.02826 \text{ m/s}} = 17.70 \text{ s}$$

### **VOLUMEN DE AGUA CONDUCTIDO EN ESE TIEMPO**

$$V = 0.0024 \frac{m^3}{s} * 17.70 s = 0.04248 m^3$$

### **ÁREA DE LAS RANURAS**

$$Ar = \frac{0.0024 m^3}{0.3 m/s} = 0.008 m^2$$

### **NUMERO DE RANURAS**

$$nr = \frac{0.008 m^2}{0.001 m^2} = 8 ranuras$$

### **LODOS ACTIVADOS**

#### **DETERMINACIÓN DE VOLUMEN**

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

$$V = Q * \theta$$

$$V = 8 HORAS * 8640 L/HORA$$

$$V = 69120 L = 69,12 m^3$$

### **CARGA ORGÁNICA**

$$CO = DBO * Q$$

$$CO = 740 \frac{mg o2}{L} * 2,4 \frac{L}{s}$$

$$CO = 1776 \frac{mg o2}{s}$$

### **CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA**

$$COV = \frac{Q * DBO}{V}$$

$$COV = \frac{2,4 \frac{L}{s} * 740 \frac{mg o2}{L}}{55.303 m^3}$$

$$COV = 32.11 \frac{mg o2}{m^3 * s}$$

## RELACIÓN ALIMENTO MICROORGANISMO

$$\frac{A}{M} = \frac{Q * DBO}{V * X_{SS}}$$

$$\frac{A}{M} = \frac{2,4 \frac{L}{s} * 740 \frac{mg \text{ o}_2}{L}}{55303 L * 3800 \frac{mg \text{ ss}}{L}}$$

$$\frac{A}{M} = 8.45 \times 10^{-6} \frac{mg \text{ o}_2}{s * mg \text{ ss}}$$

## PURGA DEL LODO

$$Q_W = \frac{V_1 * X}{\theta_c * X_R}$$

$$Q_W = \frac{55.303 m^3 * 3.8 \text{ kg ssv} / m^3}{10 \text{ días} * 15 \text{ kg ssv} / m^3}$$

$$Q_W = 1.40 \frac{m^3}{\text{día}}$$

## RECIRCULACIÓN DEL LODO

$$Q_R = \frac{Q * X}{X_R - X}$$

$$Q_R = \frac{207.36 m^3 / \text{día} * 3.8 \text{ kg ssv} / m^3}{15 \text{ kg ssv} / m^3 - 3.8 \text{ kg ssv} / m^3}$$

$$Q_R = 70.35 m^3 / \text{día}$$

## RELACIÓN DE RECIRCULACIÓN

$$R = \frac{Q_R}{Q}$$

$$R = \frac{70.35 m^3 / \text{día}}{207.36 m^3 / \text{día}}$$

$$R = 0.339 = 33.9\%$$

## DISEÑO DEL COMPRESOR

### DBO ALIMENTADO DIARIAMENTE AL SISTEMA

$$740 \frac{mg \text{ DBO}}{L} * \frac{1 \text{ Kg DBO}}{1 \times 10^6 \text{ mg DBO}} * \frac{1000 L}{1 m^3} * \frac{207.36 m^3}{\text{día}} = 153.44 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{día}}$$

### CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO

$$153.44 \frac{Kg\ DBO}{día} * \frac{154\ m^3\ Aire}{1\ Kg\ DBO} * \frac{1\ día}{24\ h} * \frac{1\ h}{60\ min} = 16,40 \frac{m^3\ Aire}{min} = 579,16 \frac{pie^3\ Aire}{min}$$

### PRESIÓN HIDROSTÁTICA DEL AGUA

$$P_{H2O} = \rho * g * h = 1200 \frac{Kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 2m = 23520\ Pa$$

$$23520\ Pa * \frac{1\ atm}{101325\ Pa} * \frac{14.7\ psi}{1\ atm} = 3.41\ psi$$

### PRESIÓN ABSOLUTA

$$P\ absoluta = P\ atm + P_{H2O} = 14.7\ psi + 3,41\ psi = 18.11\ psi$$

### TEMPERATURA A LA SALIDA DEL COMPRESOR

$$\Delta T_{ad} = \frac{T_1}{n} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{ad} = \frac{(273 + 25)}{0.8} \left[ \left( \frac{18.11}{14.7} \right)^{0.283} - 1 \right] = 22.65\ ^\circ C$$

$$T_2 = T_1 + \Delta T_{ad} = 25\ ^\circ C + 22.65\ ^\circ C = 47.65\ ^\circ C$$

### POTENCIA DEL COMPRESOR

$$P_o = \frac{0.22\ Q}{n} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$$P_o = \frac{0.22 * 579.16}{0.8} \left[ \left( \frac{17.54}{14.7} \right)^{0.283} - 1 \right] = 8.16\ HP = 6084.91\ W$$

### DIÁMETRO DEL DIFUSOR

$$D_o = \frac{D_b^3 * g * (\rho_l - \rho_g)}{6 * \sigma}$$

$$D_o = \frac{(0.002m)^3 * 9.8m/s^2 * (1200 \frac{Kg}{m^3} - 1,19 \frac{Kg}{m^3})}{6 * 0.087\ N/m}$$

$$D_o = 0.00018\ m = 0.18\ mm$$

## FRECUENCIA DE FORMACIÓN DE BURBUJA

$$f = \frac{Q}{\frac{\pi * Db^3}{6}}$$
$$f = \frac{0.0024 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0.002\text{m})^3}{6}}$$
$$f = 5.72957 * 10^5 \text{ s}^{-1}$$

## SEDIMENTADOR

### ÁREA DEL SEDIMENTADOR

$$A = \frac{Q}{\text{Carga superficial promedio}}$$
$$A = \frac{207.36 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ m} / \text{día}}$$
$$A = 8.64 \text{ m}^2$$

### CAUDAL PICO DEL EFLUENTE

$$Q \text{ pico} = 3 * Q$$
$$Q \text{ pico} = 3 * 207.36 \text{ m}^3/\text{día}$$
$$Q \text{ pico} = 622.08 \text{ m}^3/\text{día}$$

### ÁREA DEL SEDIMENTADOR PARA EL CAUDAL PICO

$$A = \frac{Q \text{ pico}}{\text{carga superficial pico}}$$
$$A = \frac{622.08 \text{ m}^3/\text{día}}{45 \text{ m}^3/\text{día}}$$
$$A = 13.824 \text{ m}^2$$

### FLUJO PICO DE SÓLIDOS

$$Q \text{ sólidos} = Q \text{ pico} * X$$
$$Q \text{ sólidos} = 622.08 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 3.8 \text{ kg ssv} / \text{m}^3$$
$$Q \text{ sólidos} = 2363.904 \text{ Kg} / \text{día}$$

### ÁREA REQUERIDA POR CARGA DE SÓLIDOS

$$A = \frac{\text{flujo pico de solidos}}{\text{carga pico de solidos}}$$

$$A = \frac{2363.904 \text{ Kg/día}}{245 \text{ Kg/d} * m^2}$$

$$A = 9.65 m^2$$

### DIÁMETRO DEL SEDIMENTADOR

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 13.824 m^2}{\pi}}$$

$$D = 4.19 m$$

### VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR PARA UNA PROFUNDIDAD DE AGUA DE 4M

$$V = A * Profundidad$$

$$V = 13.824 m^2 * 4m$$

$$V = 55.3 m^3$$

### CARGA DE REBOSE SOBRE EL VERTEDERO PERIMETRAL PARA EL CAUDAL PICO

$$CV = \frac{Q \text{ pico del afluente}}{D * \pi}$$

$$CV = \frac{622.08 m^3/día}{4.19 m * \pi}$$

$$CV = 47.25 m^2/día$$

### TIEMPO DE RETENCIÓN

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

$$\theta = \frac{55.3 m^3}{207.36 m^3/día}$$

$$\theta = 0,26 \text{ dias} \approx 6,4 \text{ horas}$$

### **COSTO DE LA ENERGÍA DEL COMPRESOR.**

$$E = 9,68 \text{ HP} * \frac{745,7 \text{ W}}{1 \text{ HP}} * \frac{1 \text{ KW}}{1000 \text{ W}} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ dia}} * \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}}$$

$$E = 5197,23 \frac{\text{KW} - \text{hora}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo Energia} = 5197,23 \frac{\text{KW} - \text{hora}}{\text{mes}} * 447,57 \frac{\text{pesos}}{\text{KW} - \text{hora}}$$

$$\text{Costo energia} = 2.326.124 \text{ pesos al mes}$$

$$\text{Costo energia} = 27.913.490 \text{ pesos al año}$$

### **COSTO DE LA ENERGÍA DE LA BOMBA.**

$$E = 0.0757 \text{ HP} * \frac{745,7 \text{ W}}{1 \text{ HP}} * \frac{1 \text{ KW}}{1000 \text{ W}} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ dia}} * \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}}$$

$$E = 40,64 \frac{\text{KW} - \text{hora}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo Energia} = 40,64 \frac{\text{KW} - \text{hora}}{\text{mes}} * 447,57 \frac{\text{pesos}}{\text{KW} - \text{hora}}$$

$$\text{Costo energia} = 18.189 \text{ pesos al mes}$$

$$\text{Costo energia} = 218.271 \text{ pesos al año}$$

### **INTERES EFECTIVO MENSUAL**

$$\text{Interes efecivo mensual} = \sqrt[12]{(1 + 11.43\%)} - 1$$

$$\text{Interes efecivo mensual} = 0,91 \%$$

## ANEXO B

### RESULTADOS AGUA RESIDUAL DEL MUNICIPIO



Código: F-ER-02

Versión: 2

Fecha: 26/01/2016



#### RESULTADOS DE ANÁLISIS AGUAS

INFORME DE RESULTADOS N°: 16242						
<b>CLIENTE:</b>	SEGURIDAD INDUSTRIAL & ELECTRÓNICA DE COLOMBIA S.A.S.					
<b>NIT:</b>	900.700.452-4	<b>COTIZACIÓN N°:</b>	LISTA PRECIOS	<b>CANTIDAD:</b>	2000 ML	<b>RESPONSABLE MUESTREO:</b> CLIENTE
<b>TELÉFONO:</b>	8140386	<b>ODS:</b>	17-1178	<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	18/04/2017	<b>T (° C) MUESTREO:</b> N.E.
<b>CONTACTO:</b>	Diana Marcela Colorado			<b>FECHA DE RECIBIDO:</b>	18/04/2017	<b>PRODUCTO:</b> ARD
<b>CARGO:</b>	N.E.			<b>TIPO DE EMPAQUE:</b>	PLASTICO	
<b>DIRECCIÓN:</b>	CL 27 B 35 40 SUR P 1			<b>PUNTO DE CAPTACIÓN:</b>	VERTIMIENTO LIQUIDO BITUIMA, CUNDINAMARCA	
<b>CIUDAD:</b>	BOGOTÁ			<b>LUGAR DE RECOGIDA:</b>	VERTIMIENTO LIQUIDO BITUIMA, CUNDINAMARCA	
<b>ID. MUESTRA:</b>	17-2804			<b>ALMAC. CONTRAMUESTRA:</b>	Análisis FQ: 15 días	Análisis MB: 24 horas
<i>Fisicoquímica</i>						
FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	Resolución 0631 de 2015. Art.8 ARD y ARnD con carga < ó = a 625,00Kg/día DBO.
18/04/2017	DBO5 (A)	293	mg O2/L	5-Day BOD Test.	5210 B, ASTM D888-12 Método C	90

(A) Parámetro acreditado por el IDEAM.

Resolución 0631 de 2015. Art.8: Parámetros Fisicoquímicos y Límites máximos en los vertimientos puntuales de aguas residuales Domésticas (ARD) de las actividades industriales, comerciales o de servicio; en cuerpos de aguas superficiales.

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada.

- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónico o al correo e inmediatamente será atendida.



INFORME DE RESULTADOS N°: 16481							
CLIENTE:	SEGURIDAD INDUSTRIAL & ELECTRÓNICA DE COLOMBIA S.A.S.						
NIT:	900.700.452-4	COTIZACIÓN N°:	LISTA DE PRECIO CANTIDAD:	250 ml	RESPONSABLE MUESTREO:	CLIENTE	
TÉLEFONO:	8140386	ODS:	17-1367	FECHA DE MUESTREO:	05/05/2017	T (° C) MUESTREO:	N.E.
CONTACTO:	Diana Marcela Colorado			FECHA DE RECIBIDO:	05/05/2017	PRODUCTO:	ARD
CARGO:	N.E.			TIPO DE EMPAQUE:	PLASTICO	TIPO DE MUESTREO:	PUNTUAL
DIRECCIÓN:	CL 27 B 35 40 SUR P 1			PUNTO DE CAPTACIÓN/	Orden de servicio cliente:	Muestra 2 - PTAR Bituima.	
CIUDAD:	BOGOTA			LUGAR DE RECOGIDA:	Muestra 2 - PTAR Bituima.		
ID. MUESTRA:	17-3284			ALMAC. CONTRAMUESTRA:	Análisis FQ: 15 días	Análisis MB: 24 horas	
Fisicoquímica							
FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	Resolución 0631 de 2015. Art.8 ARD y ARnD con carga < ó = a 625,00Kg/día DBO.	
05/05/2017	DBOS (A)	25,3	mg O2/L	5-Day BOD Test.	5210 B, ASTM D888-12 Método C	90	

\* Análisis subcontratados

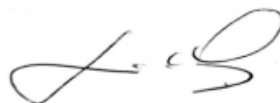
Los valores de pH, Caudal, Temperatura, Oxígeno Disuelto y Sólidos sedimentables fueron medidos in situ.

(A) Análisis acreditado por BIOPOLAB ante el IDEAM

Resolución 631 de 2015, "Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones."

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada.
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónico o al correo e inmediatamente sera atendida.
- La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:



Liliana Olmos Ravagli

INFORME DE RESULTADOS N°: 16482					
<b>CLIENTE:</b>	SEGURIDAD INDUSTRIAL & ELECTRÓNICA DE COLOMBIA S.A.S.				
<b>NIT:</b>	900.700.452-4	<b>COTIZACIÓN N°:</b>	LISTA DE PRECIS	<b>CANTIDAD:</b>	250 ml
<b>TELÉFONO:</b>	8140386	<b>ODS:</b>	17-1367	<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	05/05/2017
<b>CONTACTO:</b>	Diana Marcela Colorado			<b>FECHA DE RECIBIDO:</b>	05/05/2017
<b>CARGO:</b>	N.E.			<b>TIPO DE EMPAQUE:</b>	PLASTICO
<b>DIRECCIÓN:</b>	CL 27 B 35 40 SUR P 1			<b>PUNTO DE CAPTACIÓN/</b>	Orden de servicio cliente
<b>CIUDAD:</b>	BOGOTÁ			<b>LUGAR DE RECOGIDA:</b>	Muestra 1 - PTAR Bituima.
<b>ID. MUESTRA:</b>	17-3283			<b>ALMAC. CONTRAMUESTRA:</b>	Análisis FQ: 15 días
					Análisis MB: 24 horas
<i>Fisicoquímica</i>					
FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO
05/05/2017	DBO5 (A)	23,1	mg O2/L	5-Day BOD Test.	5210 B, ASTM D888-12 Método C

\* Análisis subcontratados

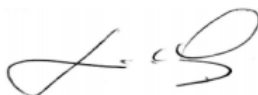
Los valores de pH, Caudal, Temperatura, Oxígeno Disuelto y Sólidos sedimentables fueron medidos in situ.

(A) Análisis acreditado por BIOPOLAB ante el IDEAM

Resolución 631 de 2015, "Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada.
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónico o al correo e inmediatamente sera atendida.
- La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:



Liliana Olmos Ravagli  
Gerente Técnica

## ANEXO C

### COTIZACIÓN TANQUES



Bogotá D.C. 30 Mayo de 2017

Señor:  
**MARIA PAULA HERRERA**  
Bogotá

**ASUNTO: COTIZACION 323**

**CON MATERIAL**

CANT.	DETALLE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Tanque rectangular 0,4 metros cúbicos HR 3/16 con pintura epoxica interior y exterior	1.850.000	1.850.000
1	Tanque rectangular 26 metros cúbicos HR ¼ pintura epoxica interior y exterior Salidas y conexiones por definir	23.000.000	23.000.000
1	Tanque rectangular 69 metros cubicos aprox. Espesor 9,5 mm pintura epoxica interior y exterior	63.000.000	63.000.000
1	Tanque redondo 55 metros cubicos aprox. Esp. 6 mm pintura epoxica interior y exterior	60.000.000	60.000.000
		<b>SUB-TOTAL</b>	<b>147.850.000</b>
		<b>I.V.A.</b>	<b>28.091.500</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>175.941.500</b>

LOS ANTERIORES PRECIOS SON ESTABLECIDOS PARA ENTREGA EN NUESTRAS INSTALACIONES EN BOGOTÁ.

VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 DIAS

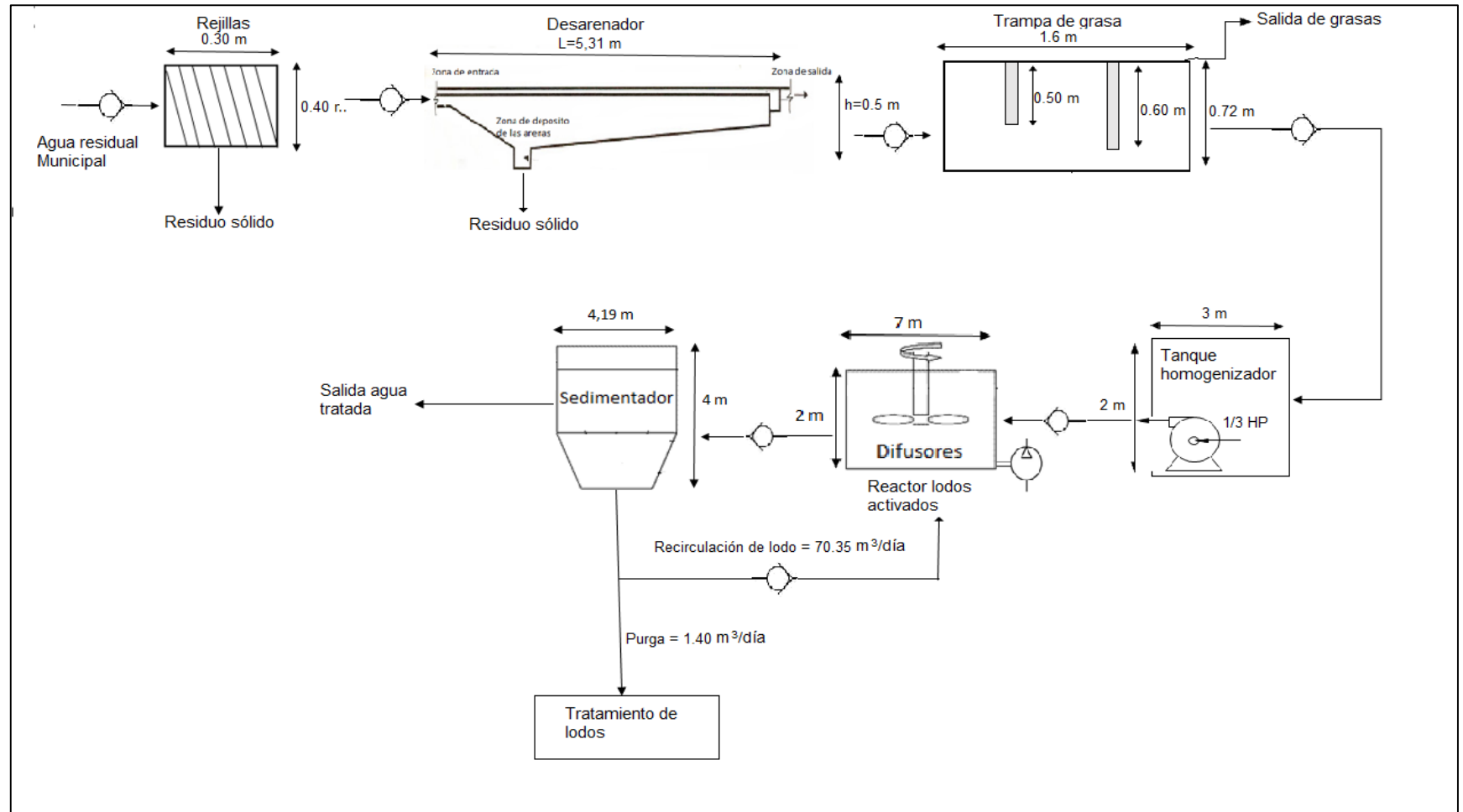
Cualquier inquietud con gusto será atendida.

Cordialmente  
**JUAN PABLO BARRERA CELIS**  
Cel.312 4319869 *Recipientes a Presión*

Calle 7 # 31 - 40 • Tél: 360 3854 / 247 9855 • E-mail: talleresbarrera80@hotmail.com  
Bogotá D.C.

## ANEXO D

### DIAGRAMA DE PROCESO DE LA PTAR



 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

#### AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES



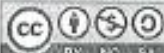
Nosotras **DIANA MARCELA COLORADO VARGAS** y **MARIA PAULA HERRERA BARRERA** en calidad de titulares de la obra *Propuesta para el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Bituima, Cundinamarca*, elaborada en el año 2016, autorizamos al Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, Intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la licencia *Creative Commons* que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución - no comercial - sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución - no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución - no comercial - compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: [https://cc.creativecommons.org/?page\\_id=15](https://cc.creativecommons.org/?page_id=15)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (solo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicará (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C, a los 17 días del mes de Agosto del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
DIANA MARCELA	COLORADO VARGAS
Documento de Identificación No	Firma
1.022.373.399	

Autor 2

Nombres	Apellidos
MARIA PAULA	HERRERA BARRERA
Documento de Identificación No	Firma
1.030.647.963	